

PROGRAMME D'HYDRAULIQUE PASTORALE DANS LE KANEM

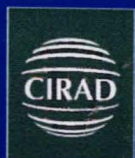
**NOTICE DE LA CARTE
DES FORMATIONS PASTORALES DU KANEM**

Giordano FORGIARINI
Laure GUERRINI
Oueddo DASSERING

*Maîtrise d'œuvre : ANTEA
Financement : Agence Française de Développement*

Rapport CIRAD-EMVT n° 05

Janvier 2001



CIRAD-Emvt
Département d'élevage
et de médecine vétérinaire



Agence Française
de Développement
N'Djamena



Groupe BRGM
Sciences de la Terre

PROGRAMME D'HYDRAULIQUE PASTORALE DANS LE KANEM
(PHPK)

NOTICE DE LA CARTE
DES FORMATIONS PASTORALES DU KANEM

Janvier 2001

Par

Giordano FORGIARINI
Cartographe, CIRAD-EMVT

Laure GUERRINI
Géographe, Cartographe SIG, CIRAD-EMVT

Oueddo DASSERING
Agropastoraliste, Laboratoire de Recherches Vétérinaires et zootechnique de Farcha / LRVZ

et avec la participation de,

Agnès BÉGUÉ, du Cirad-amis,

Gérard De Wispelaere du Cirad-emvt,

Pierre FOL du Cirad-amis,

pour le traitement des images Landsat TM et Spot Végétation.

MAITRISE D'ŒUVRE : ANTEA

FINANCEMENT : AGENCE FRANÇAISE DE DEVELOPPEMENT

Janvier 2001

AUTEUR (s) : G.FORGARINI, L.GUERRINI, O.DASSERING,

ORGANISME AUTEUR : Cirad-Emvt

ACCES AU DOCUMENT :
Centre de Documentation
du Cirad

ACCÈS : Libre

ETUDE FINANCEE PAR : Agence Française de Développement

REFERENCE : 05

AU PROFIT DE : Direction de l'Hydraulique - Tchad, ANTEA maître d'œuvre.

TYPE D'APPROCHE : Volet d'expertise pour la cartographie du projet.

TITRE : Notice de la carte des Formations pastorales du Kanem.

DATE ET LIEU DE PUBLICATION : Janvier 2001

PAYS OU REGIONS CONCERNES : Tchad, Kanem

MOTS CLES : Pâturages, élevage, formations pastorales, analyse floristique, puits pastoraux, dégradation, géomorphologie, cartographie, SIG, télédétection.

RESUME : Cette notice, indispensable à la bonne compréhension de la carte des formations pastorales décrit,

- la méthodologie et les différentes étapes de la réalisation cartographique : des relevés de terrain jusqu'à la transformation des données sous forme numérique, intégration de ces données dans un Système d'Information Géographique, conception cartographique,
- Les 11 formations pastorales identifiées, leur localisation géographique, les caractéristiques géomorphologiques et une analyse floristique adaptée à l'évaluation des ressources fourragères disponibles de ces unités ont été détaillées.
- Certaines zones de dégradation ont été identifiées et seront commentées dans cette notice.

La carte a été imprimée au 1/500 000 et couvre une superficie de 111 795 km².

Peinture de la page de couverture par Danna Ali O., Peintre Tchadien.

Cirad-emvt, 2001

Tous droits de traduction, de reproduction par tous procédés de diffusion et de cession
réservés pour tous pays.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

1- Introduction	p.6
2- Présentation régionale du Kanem	p.7
3- Méthodologie	p.9
3.1- Les données disponibles	p.9
3.2- Interprétation des spatio-cartes	p.9
3.3- Choix de l'échantillonnage	p.9
3.4- Les observations de terrain	p.12
3.5- Conception numérique de l'information	p.12
3.6- Constitution du Système d'Information Géographique	p.12
3.6.1- Choix du logiciel	p.12
3.6.2- Intégration des données	p.13
3.6.3- L'analyse	p.13
Conclusions	p.14
3.7- L'édition cartographique	p.15
4- Les formations pastorales du Kanem	p.15
4.1- Introduction	p.15
4.2- Description des 11 formations	p.15
5- Estimation des productions de végétation	p.27
5.1- Généralités sur le capteur SPOT4-Végétation	p.27
5.2- Les données images	p.28
5.3- Interprétation et présentation des résultats	p.30
Conclusions	p.33
Conclusion générale	p.34
BIBLIOGRAPHIE	p.37
Table des annexes	p.39
Tables des documents	p.45

Les photographies de terrain sont dues à Laure Guerrini.

Remerciements

La carte des formations pastorales du Kanem et la présente notice, sont le résultat d'un travail collectif, qui a pu être réalisé dans les bonnes conditions grâce à l'intérêt et à l'assistance accordés par le Programme d'Hydraulique Pastorale dans le Kanem, les autorités administratives du Kanem, nous n'oublions pas la générosité naturelle des éleveurs surgis de nulle part dans les endroits les plus reculés du Kanem.

Messieurs B. Toutain, Ph. Daget et A. Gaston, par leur aide scientifique et remarques, nous ont permis de valoriser cette étude.

Merci aussi à Isolde de Zborowski pour son dévouement et ses précieux conseils artistiques.

A tous nos vifs remerciements.

1- Introduction

La première carte des pâturages au Kanem a été réalisée en 1966. Elle couvrait la zone d'influence pastorale de la région comprise entre Moussoro, Méchimère, Mao et Ziguey, c'était déjà une évaluation des ressources fourragères régionales disponibles. A partir de cette situation, en 1976, une réactualisation de la carte du Kanem est apparue nécessaire pour évaluer l'impact de la sécheresse de 1973 sur les pâturages sahéliens. Cette fois l'étude, faite par le même auteur (A. Gaston), s'étendait sur l'ensemble du Kanem jusqu'au 16^{ème} parallèle nord.

Depuis, dans le Kanem, seules quelques études ponctuelles ont été faites en 1993 et 1998, mais aucune étude régionale n'a été réalisée depuis 1986. En 1999 dans le cadre du Projet d'Hydraulique Pastorale dans le Kanem une demande de cartographie a été exprimée pour actualiser l'information sur les ressources pastorales d'une part et d'autre part identifier les zones dégradées par éolisation ou par la pression anthropique susceptibles de remettre en cause la réhabilitation de puits, ainsi que les zones de pâturages inexploitées par manque des points d'eau à proximité.

C'est donc une nouvelle version de la carte des formations pastorales du Kanem qui est réalisée. Elle représente la situation actuelle d'après la mission de reconnaissance agrostologique d'octobre 2000 et l'interprétation des images satellitaires de décembre 1999.

Les unités cartographiques correspondent aux différentes formations pastorales. Les phénomènes ponctuels et temporaires tels que les zones inexploitées, la limite nord de la zone pastorale, les petites surfaces dégradées en auréole autour des villages et puits, les surfaces cultivées et les zones de régénération sont commentées dans la notice mais ne figurent pas sur la carte.

La carte de 1966 présente 11 unités cartographiques, celle de 1975, 8 unités et cette version 2000 a 11 unités. Ces différences du nombre d'unités cartographiques pour une même région pour les trois dates peuvent s'expliquer par au moins deux considérations :

- les moyens d'interprétation et de reconnaissance, photographies aériennes, échantillonnage régional, spatio-cartes, durée de la mission de reconnaissance de terrain et importance de la superficie à étudier,
- les conditions éco-climatiques de l'année d'étude. En effet, toute différence dans les formations végétales peut varier suivant le régime pluviométrique annuel qui a précédé les observations de terrain, c'est le cas de la carte de 1975 qui a suivi une période de sécheresse très sévère.

L'actualisation de la carte des pâturages tient compte de la composition floristique des unités et de leur extension spatiale.

2- Présentation régionale du Kanem

La préfecture du Kanem est située au centre-ouest de la République du Tchad en contact avec le Niger entre 13 et 16°45' de latitude nord (carte n° 1). La carte des formations pastorales se limite à 16° nord et couvre une superficie de 111 795 km².

Au Tchad on distingue quatre grandes zones climatiques disposées selon un gradient nord/sud. Le Kanem appartient à la zone « sahélienne pastorale » et reçoit une pluviosité moyenne annuelle qui varie de 200 à 400 mm, répartie sur deux ou trois mois, (B. Toutain et al. juillet 2000).

La préfecture du Kanem est peuplée d'environ 300 000 habitants, dont l'activité principale est l'élevage extensif transhumant.

La répartition de la population est très variable, en fonction de l'environnement favorable à la conduite du bétail et à la culture. On a constaté une forte densité au sud d'une ligne qui passe par Moussoro-Méchiméré-Mao et Rig-Rig, une plus faible densité existe entre cette ligne et le 15^{ème} parallèle, au delà il n'existe aucun village où seuls les transhumants exploitent ces parcours.

C'est une vaste région d'accumulation sableuse dont l'altitude varie du sud-ouest au nord-est de 280 m au niveau du Lac Tchad pour atteindre 360 m sur la dorsale et redescende à 260 m dans les abords du *bas-pays*. Le modelé régional est ondulé, l'amplitude varie entre les faibles ondulations et les ouadis profonds, mais l'alignement est constant dans une orientation nord-ouest/sud-est, perpendiculaire aux vents dominants.

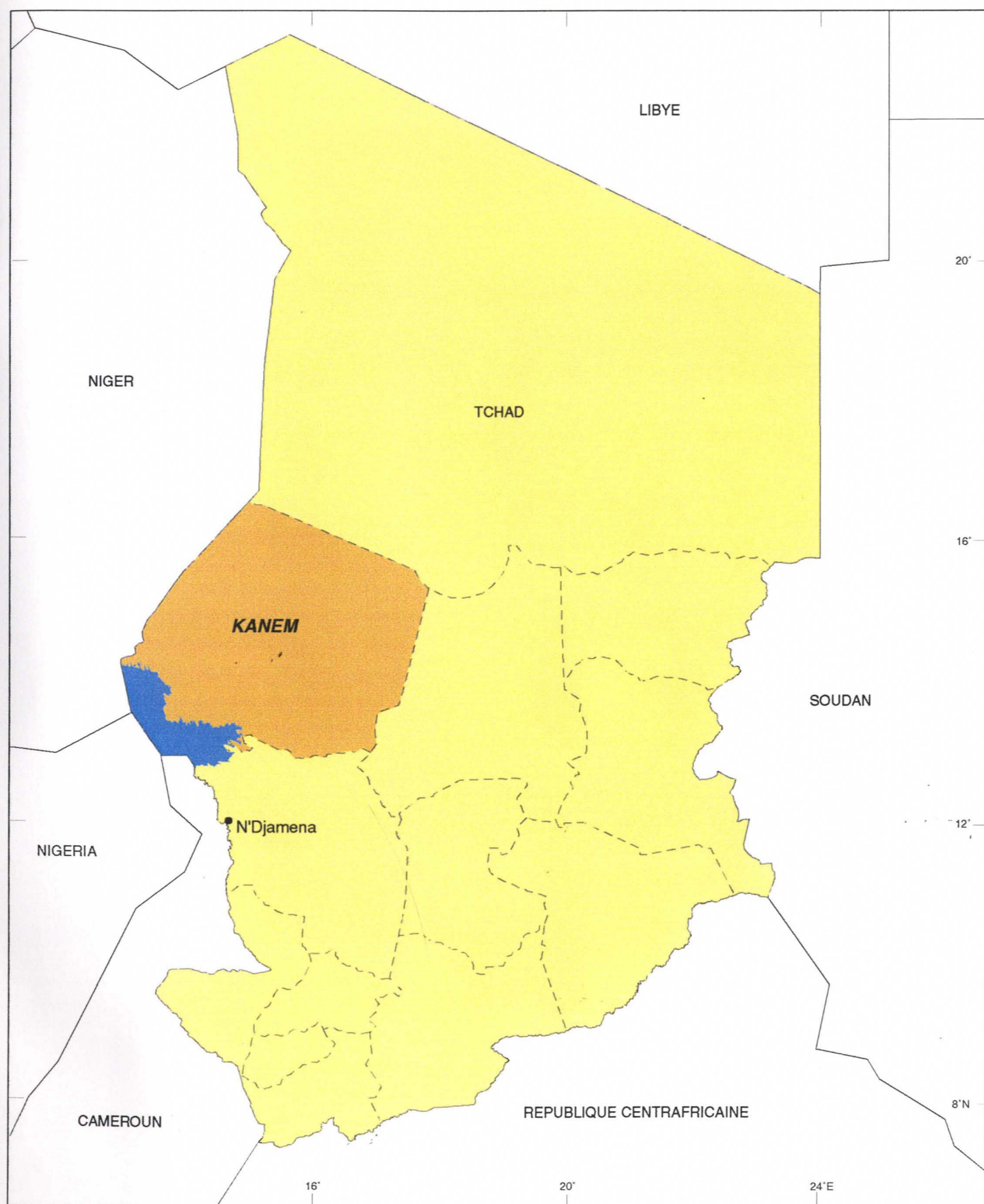
Le Kanem est composée de différentes entités géographiques dont les principales sont :

- **La cuvette de l'Eguy** qui se localise au delà de 15°30'. C'est une vaste dépression ouverte vers le nord qui marque la zone désertique.
- **Le plateau semi-désertique** au nord du 15^{ème} parallèle est une région sableuse plane, faiblement inclinée vers le nord. Elle se situe entre le Bahr el Ghazal et le Manga.
- **Le Manga** s'étend de part et d'autre de la frontière Tchad-Niger au nord du 15^{ème} parallèle. C'est un système collinaire sableux dont le modelé dunaire diffère du nord au sud en fonction des vents.
- **Le Bahr el Ghazal** est défini soit comme effluent du lac Tchad, vallée fossile ou sillon (Lemoalle J., Hourtal D.) Il décrit un parcours quasi-rectiligne du lac Tchad jusqu'à la limite nord/est du Kanem. Si ses caractéristiques sont distinctes dans la partie sud, elles tendent à disparaître par colmatage sableux au nord de Salal.

Le Bahr el Ghazal et sa zone d'influence ont été étudiés par Yosko I.. Au travers de la perception des pasteurs Toubous, cinq entités géographiques en terme d'unité-ressource ont été identifiées : Le Harrou, l'Eka, le Sourrou, le Foorsh et le Soulla (Yosko I. 1996).

- **La partie centrale du Kanem** regroupe les plateaux sableux sub-horizontaux, faiblement ondulés ou entaillés par des profonds ouadis. C'est ici que les dunes sont les mieux fixées par la végétation, elle correspond aussi à la partie la plus peuplée de la région.

Carte 1 : Localisation de la préfecture du Kanem



- Le tracé du Lac Tchad reporté sur la carte correspond à l'étendue d'eau libre et l'espace navigable entre les « îlots-bancs » des images Landsat de décembre 1999.

3- Méthodologie

3.1- Les données disponibles

Dans la première phase de travail pour l'actualisation de la carte, huit images satellitaires Landsat 7 TM couvrant la région ont été acquises (annexe1), elles ont été enregistrées en décembre 1999. Géoréférencées, traitées en composition colorée puis mosaïquées, elles ont été découpées en douze spatio-cartes au 1/200 000 correspondant aux douze degrés carrés des cartes topographiques IGN de Am Djémena, Moussoro, N'Gouri, Bol, Nokou, Mao, Arak, Salal, El Messir, Hacha, Nira et Dira (carte n°2).

3.2- Interprétation des spatio-cartes

L'interprétation préliminaire des spatio-cartes a été effectuée avant la mission de terrain afin d'identifier les principales unités de paysages et d'établir la localisation d'un réseau de relevés représentatifs (annexe 2).

Les relevés de végétation du Kanem, enregistrés dans la base de données FLOTROP ont également été positionnées sur les spatio-cartes, afin de comparer, dans la mesure du possible, les relevés de la campagne de terrain d'octobre 2000 à celles de 1964, 1966, 1975 et 1991.

3.3- Choix de l'échantillonnage

Le choix des relevés a été opéré selon différents critères.

- Certaines unités de végétation très homogènes se prêtaient à une faible densité de relevés, d'autres nécessitaient un nombre de relevés plus important.
- Le nombre de relevés dépend à la fois de la surface de la zone, mais aussi de sa complexité.

Par exemple, le sud du Kanem, région d'intense activité pastorale, présente des unités de végétation plus hétérogènes et des changements du milieu sur des courtes distances ; ces zones ont nécessité un nombre plus important de relevés, pour une bonne compréhension des formations pastorales.

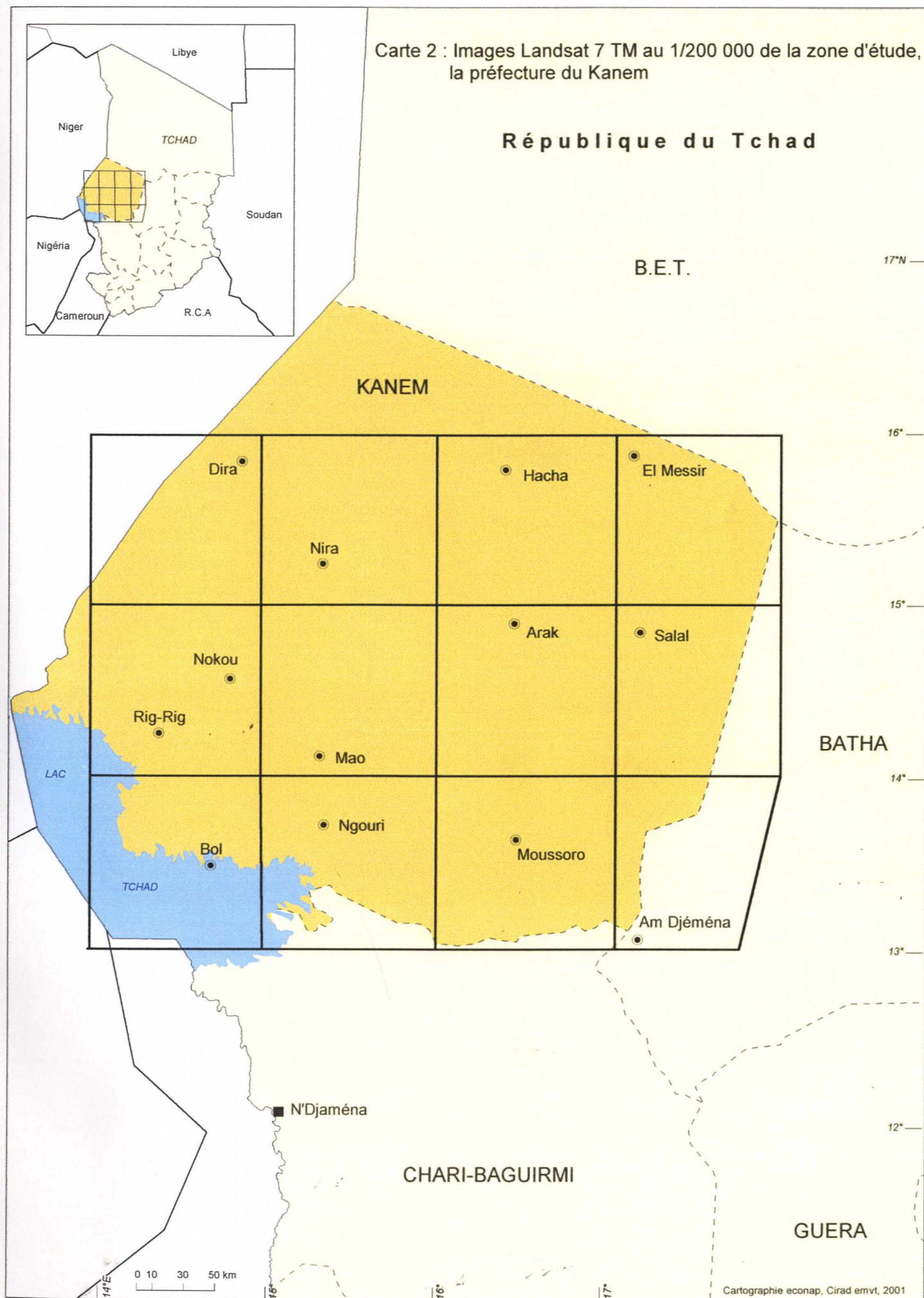
Les régions semi-désertiques au nord du Kanem, présentent une certaine homogénéité des faciès, une continuité du paysage sur de grandes superficies. La compréhension de ce vaste plateau ne nécessitait pas une densité de relevés comparable.

Les relevés sur les zones de transition entre deux formations ont été évités.

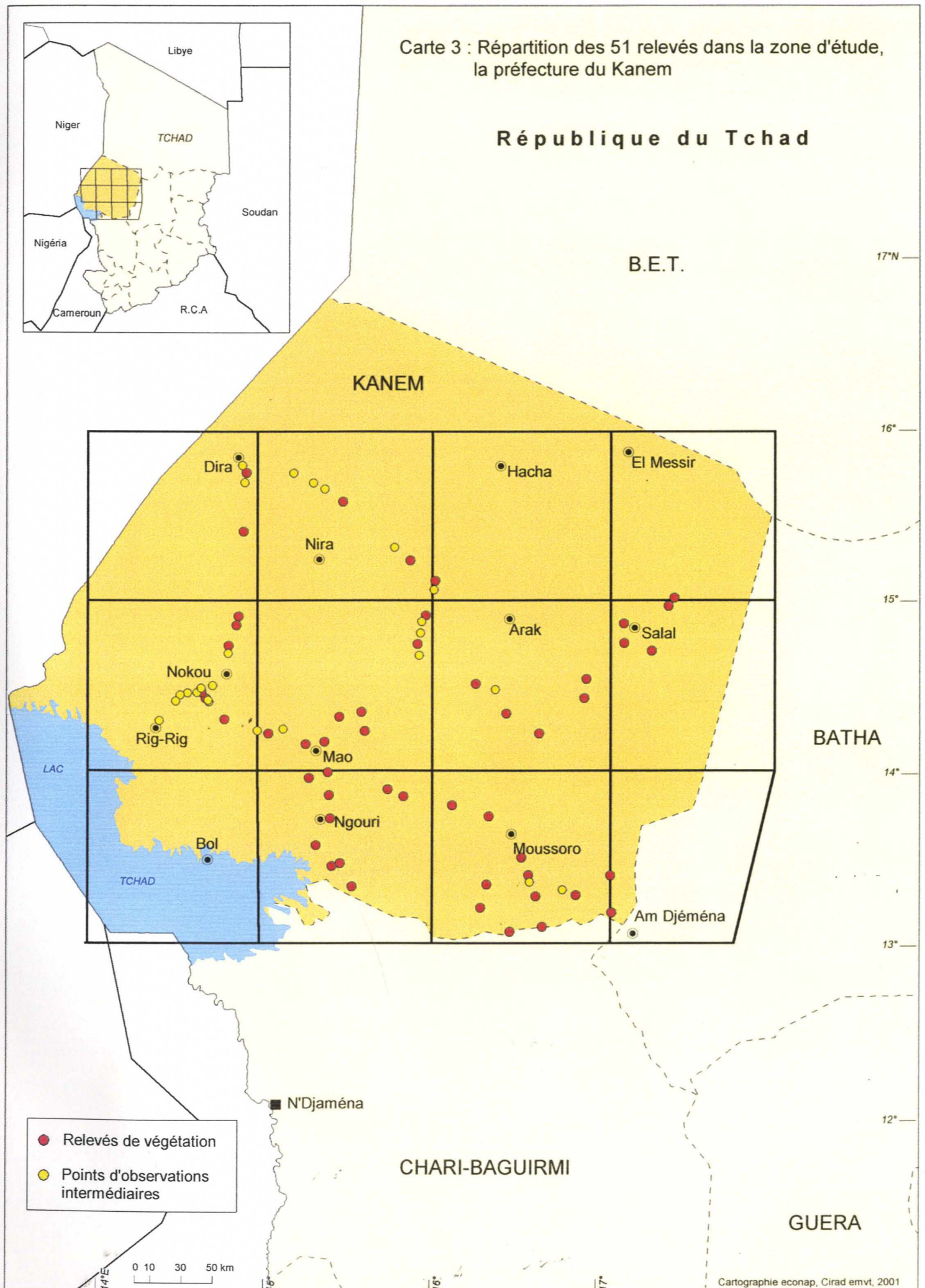
Au total, 51 relevés décrivant la composition floristique, l'abondance-dominance des espèces végétales, la topographie et l'état des sols ont été retenus (annexe 3). De plus, 36 points intermédiaires plus expéditifs, décrivant des zones de transition, des zones dégradées et parfois des limites non perceptibles sur les spatio - cartes, ont été notés, complétant les relevés établis (annexe 4).

La carte n°3 illustre la répartition des relevés de terrain.

Carte 2 : Images Landsat 7 TM au 1/200 000 de la zone d'étude, la préfecture du Kanem



Carte 3 : Répartition des 51 relevés dans la zone d'étude, la préfecture du Kanem



3.4- Les observations de terrain

L'interprétation préliminaire des spatio-cartes avait permis d'identifier des unités de paysage, d'en vérifier l'homogénéité et d'en tracer leur limite.

Cependant, seules les observations de terrain ont permis de décrire les différentes formations. Ainsi la description du milieu, les valeurs quantitatives et qualitatives des couverts végétaux et la composition floristique ont été analysés permettant de définir différentes formations pastorales.

Les données de terrain confrontées aux données existantes ont permis de délimiter les 11 formations pastorales définitives.

En effet, à partir des images satellitaires, on procède à l'identification d'unités ayant la même signification thématique au regard de certains éléments : texture, structure, couleur.

C'est la restitution des données de terrain qui valide ou modifie cette première interprétation. Les composantes des paysages en découlent : géomorphologie, couvert végétal, action anthropique.

Dans nos principes d'interprétation, les relevés de terrain sont de loin la source d'information la plus abondante qu'il faut synthétiser pour une représentation cartographique.

Alors, dans une logique de synthèse, afin d'éviter l'accroissement du nombre d'unités correspondant plutôt à une réalité saisonnière ou à des phénomènes temporaires, on regroupe sous une unité donnée des faciès qui sont comparables au vue de certaines caractéristiques floristiques et géomorphologiques.

La densité des espèces végétales suit un gradient sud/nord et peut donc varier au sein d'une même unité. Cependant, les caractéristiques principales de la formation sont conservées.

3.5- Conception numérique de l'information

L'interprétation des 12 spatio-cartes au 1 / 200 000 a été réduite à l'échelle du 1 / 500 000.

Les 12 nouvelles coupures ont été assemblés, générant un seul document à l'échelle d'édition. Cette transformation n'a entraîné aucune modification de l'information interprétée. Les contours des formations pastorales identifiées ainsi que l'information topographique présentes n'ont pas subi de généralisation graphique.

Le calque au 1 / 500 000 a été scanné (scanner A0), vectorisé de façon automatique sous MapScan et géoréférencé (UTM WGS 84, fuseau 33 nord) avant d'être intégré dans un logiciel SIG.

3.6- Constitution du Système d'Information Géographique

3.6.1- Choix du logiciel

MapInfo et Arcview sont les deux logiciels actuels les plus performant en matière de SIG bureautique. Rapidement, MapInfo a été choisi pour la réalisation de ce travail, la raison principale étant que ce logiciel est aussi utilisé par le Programme d'Hydraulique Pastorale du Kanem.

3.6.2- Intégration des données

Un des rôles essentiels du SIG est son pouvoir d'intégration de données issues de diverses sources et techniques d'acquisition.

- La carte numérisée et géoréférencée a été intégrée sous MapInfo.
- Les coordonnées GPS des villages et des puits ont permis leur positionnement.

Les informations interprétées ont été localisées géographiquement et chaque unité pastorale constitue une couche d'information géoréférencée.

- 11 couches correspondant aux 11 formations pastorales ont ainsi été créées.

Les couches d'information permettront de mettre en place un SIG :

- de représentation des différentes informations concernant les pâturages du Kanem
- opérationnel pour guider et orienter les décisions et les actions à mener en matière de suivi des productions pastorales et d'intervention pour la création et réhabilitation de puits.

3.6.3- L'analyse

A cette information spatialisée correspondent des tables de données permettant de générer diverses requêtes.

Les données repérées spatialement sont structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

La constitution d'un SIG est un processus évolutif, la base de données peut être alimentée et actualisée par des enquêtes ultérieures.

La nécessité d'identifier le taux d'occupation des domaines et formations pastorales s'est fait ressentir et rapidement les superficies ont été calculées.

Tableau n°1 : Superficie et taux d'occupation des formations pastorales du Kanem :

Formations pastorales	Superficie (km2)	Occupation (%)
DOMAINE SEMI-DESERTIQUE		
Formation herbacée de la cuvette à diatomites de l'Eguey	3300	2,95
Steppe arbustive du plateau désertique du Nord	25 984	23,25
Steppe arbustive du système collinaire sableux du Manga	16 132	14,43
Steppe arbustive des plateaux sableux désertiques à faibles ondulations	4804	4,29
DOMAINE DE FORMATIONS DUNAIRES		
Steppe arbustive des plateaux sableux de surface sub-horizontale	22 772	20,37
Steppe arbustive des plateaux sableux à faibles ondulations	14 490	13
Steppe arbustive des plateaux sableux entaillés par des ouadis profonds	18 742	16,76
DOMAINE DU BAHR EL GHAZAL		
Steppe arbustive des bas fonds du Bahr el Ghazal Nord	358	0,32
Steppe arbustive des bas fonds du Bahr el Ghazal Sud	2915	2,61
Steppe arbustive des bourrelets sableux du Bahr el Ghazal	1972	1,76
DOMAINE DE LA PLAINE INONDABLE		
Steppe arbustive de la plaine argileuse fluvio-lacustre « naga »	326	0,30

Conclusion

Le SIG ainsi constitué sous MapInfo est mis à la disposition du Programme d'Hydraulique Pastorale du Kanem et constitue une base numérique commune géoréférencée sur laquelle les intervenants pourront s'appuyer.

Le SIG est aussi un outil permettant la mise à jour rapide de l'information graphique et attributaire. Aussi, les études locales complémentaires apportant une nouvelle information pourront être intégrées dans le SIG.

3.7- L'édition cartographique

L'habillage, les légendes, les références cartographiques sont finalisés sous Adobe Illustrator. L'attribution des plages de couleurs aux différentes formations pastorales ont été réfléchies selon les caractéristiques éco-climatiques régionales.

4- Les formations pastorales du Kanem

4.1- Introduction

La végétation du Kanem est sahélienne et est constituée par une steppe arbustive à épineux *Acacia raddiana*, *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca* ; Les espèces herbacées de la steppe sont les graminées annuelles *Aristida mutabilis*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*. A ce tapis annuel sont associés *Panicum turgidum*, *Aristida pallida*, *Cyperus conglomeratus*. Sur la base de la géomorphologie, nous distinguons dans le Kanem les grandes unités suivantes de végétation :

4.2- Description des onze formations pastorales

Domaine semi-désertique :

Il comprend quatre formations pastorales principales décrites ci-dessous, fortement liées par des caractères communs : aridité, ensablement par éolisation, faible recouvrement végétal, localisés au nord du 15^{ème} degré de latitude, auxquelles il faut ajouter la steppe arbustive des bas-fonds du Bahr el Ghazal nord, qui par souci de clarté de lecture est décrite dans le domaine du Bahr el Ghazal.

Formation herbacée de la cuvette à diatomites de l'Eguy à *Schoenefeldia gracilis* et *Sporobolus helvolus*.

Parcours composé des touffes très éparées et quelques arbustes isolés de la cuvette ouverte vers le nord. Située à une altitude inférieure d'environ 10 mètres du plateau désertique, elle est caractérisée par un fond limono-argileux à placages sableux et irrégulièrement parsemé de mini-dépressions à diatomites. Elle couvre une superficie de 3300 km².

La végétation est constituée des graminées halophytes. Le sol est salé et il y a une carrière traditionnelle de natron, la végétation n'est exploitable que par les dromadaires et uniquement pendant les saisons de pluies. Les éleveurs considèrent que l'eau de cette zone présente une vertu médicinale pour les animaux et les hommes. Elle entretient la fertilité des vaches toute une année.

Action anthropique : Faible charge animale, probablement cameline, milieu déjà fragile par les conditions naturelles.

Steppe arbustive du plateau désertique du nord à *Acacia raddiana*, *Maerua crassifolia*, strate herbacée à *Panicum turgidum*, *Aristida pallida*.

Ce plateau désertique est localisé au nord de 15^{ème} parallèle entre le Bahr el Ghazal et le Manga. C'est une région d'épandages sableux sur une surface indurée, sans relief remarquables, faiblement inclinée vers le nord et peuplée de nombreuses barkhanes qui migrent dans la direction relativement constante des vents efficaces. C'est une vaste zone de 25 984 km² soumise à la déflation éolienne.

Salvadora persica fait son apparition en îlots le long des barkhanes. Dans les environs de Nira, *Panicum turgidum* et *Aristida pallida* occupent par endroit des couvertures importantes du sol, parfois plus de 10 pour cent.

La nappe phréatique au sud du puits de Hacha étant superficielle, elle attire de nombreux éleveurs et le pâturage qui alterne à *Cyperus conglomeratus*, *Panicum turgidum* et *Aristida pallida* est très exploité.

Action anthropique : Parcours sensible à la surcharge animale, auréole d'impact autour des puits, à tel point qu'ils peuvent, avec une certaine validité, être identifiés sur les spatio-cartes par les traces ponctuelles de sol dénudé.



Faciès steppique à *Panicum turgidum* du plateau désertique du nord.

Steppe herbeuse du système collinaire sableux du Manga à *Capparis decidua*, *Maerua crassifolia*, et *Panicum turgidum* dans les dépressions, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca* et *Panicum turgidum*, *Cyperus conglomeratus* sur les versants.

Le Manga est un système collinaire sableux localisé au nord du 15^{ème} parallèle. Sa superficie est de 16 132 km². Au sud du Manga, le modelé dunaire est stabilisé, les creux sont plus ou moins circulaires et les crêtes convexes. Au nord, il devient confus, les accumulations sableuses atténuent les formes dunaires. Les crêtes deviennent dissymétriques sous l'action du vent.

Sur le plateau, la strate herbacée est dominée par *Cyperus conglomeratus*. *Panicum turgidum* et *Cenchrus biflorus* sont également présents. *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca* sont assez localisés, à peine un individu tous les deux cents mètres environ. Cette zone constitue la limite nord de l'élevage bovin. Ce pâturage est donc exploitable uniquement par les dromadaires. Le sud du Manga constitue la limite nord de *Leptadenia pyrotechnica*. A cette latitude commence l'aire géographique de *Commiphora quadricincta* dans les dépressions. Il

s'associe souvent à *Maerua crassifolia* qui domine la formation, à *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca*, *Capparis decidua*. La densité ligneuse est faible, à peine 5 individus à l'hectare.

La partie nord du Manga présente les mêmes espèces ligneuses excepté *Capparis decidua* et *Maerua crassifolia*. Les densités sont encore faibles, un arbre tous les 500 mètres.

Action anthropique : le Manga ne présente pas de zones de fortes productions fourragères, néanmoins c'est une région traditionnellement fréquentée. La charge animale y est diffuse, sans préférences localisées, car la ressource fourragère est dispersée.

Les auréoles de dégradation autour des puits (qui sont généralement visibles sur l'ensemble des images satellites) sont absentes dans cette région.



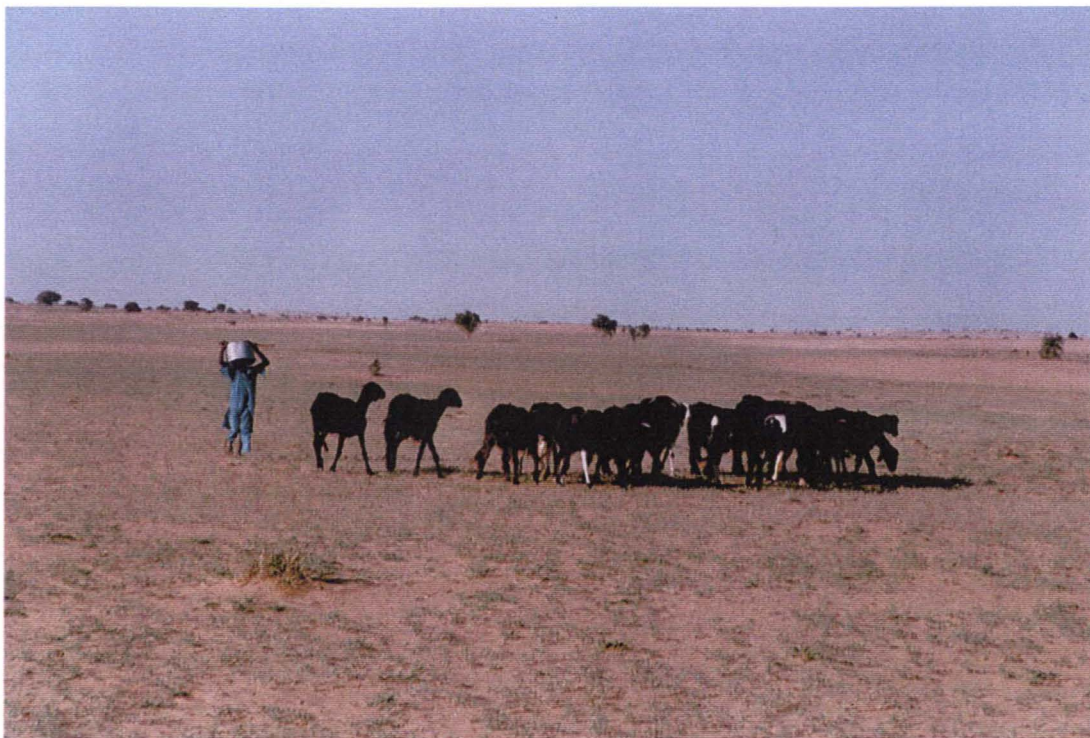
Dépression circulaire entre les collines sableuses du Manga

Steppe arbustive des plateaux sableux désertiques à faibles ondulations à *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca* et *Aristida mutabilis*.

Ce pâturage se situe à l'est du Bahr el Ghazal nord et s'étend au delà des limites administratives du Kanem. Sa superficie est de 4804 km². C'est une zone de transition, désertique, qui se différencie du plateau du nord par la présence de dépôts sableux.

La végétation arbustive est basse et éparse avec des *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca*, à peine 1 arbre tous les 500 m, la strate herbacée alterne entre : *Panicum turgidum*, *Aristida pallida* et *Cyperus conglomeratus*.

Action anthropique : forte ; le surpâturage, la forte fréquentation autour des puits à proximité de Salal, les phénomènes d'ensablement entraînent une disparition rapide du couvert végétal en fin de saison de pluies.



Pâturage de fin de saison des pluies sur plateaux sableux à l'est de Salal

Domaine de formations dunaires :

Ce domaine s'étend d'est en ouest sur la partie méridionale du Kanem. Ces vastes plateaux sableux sub-horizontaux, se situent au sud du 15^{ème} parallèle.

Steppe arbustive des plateaux sableux de surface sub-horizontale à *Leptadenia pyrotechnica*, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca* , strate herbacée à *Panicum turgidum*, *Aristida pallida* et *Aristida mutabilis*.

Ce vaste plateau sableux contourne le nord-est du lac Tchad et sa continuité est interrompue par le Bahr el Ghazal et son défluent. Il occupe une superficie de 22 772 km².

Au sud de Moussoro et dans la zone de Ngouri, *Leptadenia pyrotechnica* domine ce type de formation. Elle est presque fermée au point qu'il est difficile de circuler en véhicule. Par contre la densité de *Leptadenia pyrotechnica* diminue fortement dans la partie nord de Nokou. Dans ces zones on rencontre *Acacia raddiana* pouvant atteindre plus de 15 mètres mais le recouvrement est à peine de 1 pour cent. Dans la partie sud de cette formation, *Panicum turgidum* et *Aristida pallida* sont assez isolés, parfois absents. Leur répartition suit un gradient Nord-Sud. Au sud de la zone, c'est *Aristida mutabilis* et *Cenchrus biflorus* qui dominent la formation herbacée.

Les zones des plateaux sub-horizontaux possèdent des ressources fourragères disponibles même en fin de saison de pluies. Ces zones sont peu exploitées par les éleveurs parce que la nappe phréatique est profonde en général pour les ouvrages traditionnels. A la fin de la saison de pluies, les disponibilités fourragères non exploitées sont relativement importantes et permettent encore d'entretenir les feux de brousse accidentels. Les herbacées ont un recouvrement moyen au sol de 60 à 70 pour cent. Ces zones sont en général brûlées chaque

année par les feux de brousse. Les traces de feux observées sur les images satellites se localisent en partie sur ces zones. Ces endroits se caractérisent par une faible densité de *Leptadenia pyrotechnica* (5 à 10 individus à l'hectare) et une destruction plus importante de cette espèce sensible au feu. Dans les zones peu brûlées, *Leptadenia pyrotechnica* est très dense (plus de 40 individus à l'hectare). Les zones des plateaux sub-horizontaux peuvent être renforcées en puits. Ils permettront une meilleure répartition de la charge animale sur les parcours, une meilleure valorisation des pâturages et la lutte contre les feux de brousse.

La zone totalement détruite décrite par A. GASTON (1976) se situe dans cette unité. La partie sud de la zone se reconstitue lentement. La reconstitution se fait essentiellement avec le *Leptadenia pyrotechnica*. Dans la partie centrale, *Leptadenia pyrotechnica* a la cote 2¹ tandis que *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptica* ont chacun la cote 1. On note également la présence de *Acacia senegal*. La hauteur moyenne des arbres est de 6 mètres environ. La régénération de cette partie centrale est de 10 individus à l'hectare. Aux environs de Nokou aux coordonnées 14°31'01" nord et 14°41'30 est, est localisé le site scientifique du Laboratoire de Farcha. C'est une formation à *Acacia raddiana* cote 2, *Acacia senegal* cote 2 et *Balanites aegyptiaca* cote 1. La densité des arbustes de 6 mètres est d'environ 30 individus à l'hectare. La régénération est très forte, plus de 40 individus à l'hectare. Du site scientifique vers la ville de Nokou, il n'y a plus de ligneux, seul *Panicum turgidum* couvre le sol jusqu'à 70 pour cent environ. Sur la partie ouest s'étend une zone dénudée avec une vaste plage de sable mobilisé correspondant à un ancien site habité.

¹ Echelle couramment utilisée de J. Braun-Blanquet.

Le recouvrement des plantes, en particulier des plantes herbacées, varie beaucoup au cours de la période active de végétation. Pour l'examen de reconnaissance des pâturages tropicaux, il semble préférable d'utiliser une échelle mixte d'abondance-dominance. Le début de l'échelle estime l'abondance et la fin de l'échelle estime le recouvrement :

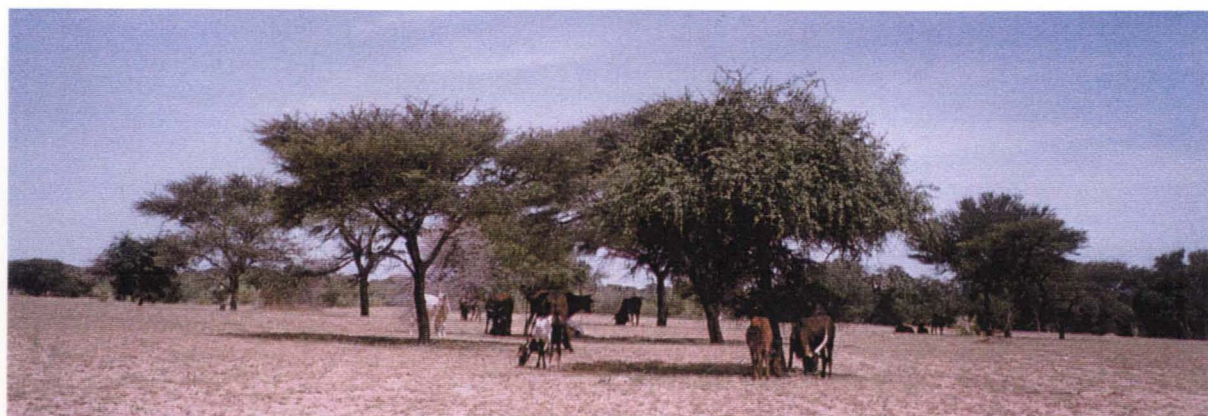
- + : espèce présente à l'état d'individus isolés (abondance et recouvrement très faibles) ;
- 1 : espèce présente à l'état d'individus abondants, mais à faible recouvrement ;
- 2 : espèce présente à l'état d'individus abondants et recouvrement voisin de 5 p. 100 ;
- 3 : espèces dont le recouvrement peut atteindre le tiers du relevé (5 à 35 p. 100) ;
- 4 : espèces dont le recouvrement occupe entre 1/3 et 2/3 du relevé (35 à 65 p. 100) ;
- 5 : espèces dont le recouvrement occupe plus des 2/3 du relevé (65 à 100 p. 100). (Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères, G. Boudet, 1978).

Chaque localité est caractérisé par les relevés moyens suivants :

type	Espèces	Moussoro		Mao		Ngouri		Nokou	
		1976	2000	1976	2000	1976	2000	1976	2000
Ligneux	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	1	2	2	3		3	+	2
	<i>Acacia raddiana</i>	2	1	2	1		1	2	1
	<i>Balanites aegyptiaca</i>	2	1	1	1		1	2	+
	<i>Acacia senegal</i>	-	+	+	+		+	+	+
	<i>Acacia seyal</i>	-	-	-	-		+	-	-
	Recouvrement moyen	13	8	13	22	-	22	12	7
Herbacées vivaces	<i>Panicum turgidum</i>	-	+	-	+		-	-	2
	<i>Aristida pallida</i>	-	+	-	1		-	-	+
	<i>Cyperus conglomeratus</i>	-		-				3	
	<i>Aristida longiflora</i>							3	
Herbacées annuelles	<i>Aristida mutabilis</i>	3	2	3	2		3	3	2
	<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	-	1	1	+		1	-	-
	<i>Cenchrus biflorus</i>	-	1	-	+		1	-	+
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	-	+	1	1		+	-	1
	<i>Panicum laetum</i>	-	+	-	-		-	-	-
	<i>Schoenefeldia gracilis</i>	1	-	-					
	Recouvrement herbacées	21	8	22	8		22	40	13

On constate une nette progression de *Leptadenia pyrotechnica* qui colonise toute la zone et parallèlement une régression d'*Acacia raddiana* en 2000 par rapport à la situation de 1976. Les herbacées vivaces *Panicum turgidum* et *Aristida pallida* semblent également revenir dans l'ensemble de la zone en 2000.

Action anthropique : Il y a une forte occupation agricole sur sols sableux, les espaces sont défrichés pour être cultivés et ensuite laissés en jachère favorisant ainsi l'extension des *Calotropis procera*. On remarque des zones de dégradation sur un rayon d'environ 3 km autour des nombreux villages et puits. Les feux de brousse sont observés sur des pâturages éloignés des villages.



Sur plateau sub-horizontale, les ligneux atteignent plus de 10 mètres de haut et le tapis herbacé est très exploité. 20

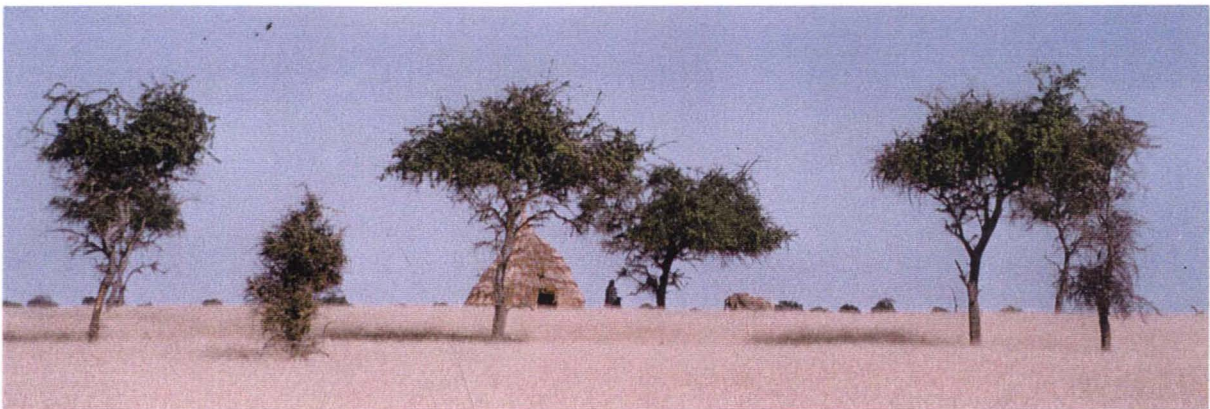
Steppe arbustive des plateaux sableux à faible ondulations à *Acacia raddiana*, *Leptadenia pyrotechnica*, strate herbacée à *Aristida mutabilis*, *Eragrostis tremula*.

Ce plateau sableux s'étire de part et d'autre du Bahr el Ghazal sud et pénètre de façon discontinue les autres formations, décrivant un paysage fractionné. L'intrusion de ces plateaux vient contraster de façon assez nette avec les unités qui l'entourent. Il occupe une superficie de 14 490 km².

Ces formations se rencontrent sur les feuilles de Ngouri, Arak et Moussoro. Ces zones sont relativement plus exploitées. Les ondulations forment des pseudo-ouadis étroits. Les cultures occupent les versants des inter-dépressions. Dans les dépressions, la densité de *Acacia raddiana* est très forte vers Ngouri et Moussoro, les régénérations dépassent souvent 40 individus à l'hectare. Sur la feuille d'Arak entre 14°20' à 14°40" de latitude nord et 16°00' et 16°30' de longitude est, s'étend une zone à *Leptadenia pyrotechnica* et *Balanites aegyptiaca*, dont la végétation a été détruite récemment par l'aridité du climat. Les arbres sont morts et la totalité des herbacées est séchée, en paille entièrement brûlée par le soleil. Quelques pailles de *Cenchrus biflorus* sont encore reconnaissables.

Les zones sensibles à l'aridité se localisent dans les formations sur plateaux sub-horizontaux et les plateaux à faible ondulation.

Action anthropique : L'occupation agricole sur sols sableux est variable suivant la localisation : forte dans la région de N'Gouri, faible au nord de 14° 30' et nulle à l'est du Kanem ou par contre en décembre, les pâturages sont brûlés sur de grandes superficies.



Exemple d'un faciès sur plateaux sableux à faibles ondulations. Le tapis herbacé est dense et peu exploité. La strate ligneuse est à *Balanites aegyptiaca*.

Steppe arbustive des plateaux sableux entaillés par des ouadis profonds à *Leptadenia pyrotechnica*, *Acacia raddiana*, strate herbacée à *Panicum turgidum*, *Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*

Cette formation occupe la partie centrale du Kanem, de part et d'autre du Bahr el Ghazal. On la retrouve aux environs de Nokou et dans la partie sud-est de la préfecture.

Cette formation englobe les bas-fond des ouadis limono-argileux et les hauts des ondulations sableuses. C'est un paysage fortement ondulé, dont les dépressions fermées ou ouadis orientés

nord-ouest/sud-est ont un dénivelé de 20 à 40 m, parfois même 50 m. Les versants des dépressions proches de Mao sont soumis à un fort ravinement hydrique. Ces plateaux occupent 18 742 km².

Sur les plateaux dunaires, domine *Leptadenia pyrotechnica*. *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca* sont assez dispersés, soit un individu tous les 100 m. La densité de ligneux est estimée à environ 40 individus par hectare au sud et nord-est de Moussoro, vers Mondo et au sud de Mao. Au nord de Mao, cette densité chute et atteint parfois 10 individus à l'hectare. Le tapis herbacé est dominé par *Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*, *Eragrostis tremula*. On trouve par endroit *Panicum turgidum*. La densité de *Panicum turgidum* est plus importante (sol couvert parfois à 50 pour cent) quand on passe graduellement vers la partie nord. L'érosion hydrique a creusé, sur la crête et le versant, de profonds ravins sur les façades. Sur les parties non cultivées, le recouvrement de la végétation herbacée varie de 30 à 60 p.100. Sur le plateau, la régénération des ligneux est importante autour des villages et sur les aires de pacages des animaux. Elle peut facilement dépasser 20 individus à l'hectare.

Les versants ont généralement une pente estimée à plus de 10 %.

- Le haut de cette pente est sablonneux et est colonisé par *Indigofera* spp., *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*. La strate arbustive clairsemée comprend *Leptadenia pyrotechnica*, *Acacia raddiana*.

- Le bas de pente, limoneux, est occupé par *Schoenefeldia gracilis* et *Aristida mutabilis*. Le recouvrement de cette partie atteint au moins 70 p.100. La strate ligneuse des bas de pente et de la dépression est composée de *Hyphaene thebaica*, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Calotropis procera*, *Maerua crassifolia*. Cette dernière espèce est très broutée, et se présente en touffe ou en boule très tondues et dépassent rarement un mètre.

Le versant ouest est au vent, il est le plus exposé à l'érosion éolienne et présente souvent une remobilisation du sable par endroit vers Moussoro, Mondo, Mao, Ntiona et Nokou. La régénération des ligneux sur le bas de pente peut atteindre 10 individus à l'hectare.

Le sol du fond des ouadis est de la diatomite et du limon. La périphérie est occupée par *Schoenefeldia gracilis*, *Aristida mutabilis*. La strate ligneuse est dense et composée de *Hyphaene thebaica*, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Maerua crassifolia*. Lorsque le ouadis est à proximité d'un village, son centre est occupé par le maraîchage des agrumes, et *Phoenix dactylifera*. S'il est éloigné, il est exploité grâce aux puits traditionnels creusés pour l'alimentation en eau des éleveurs et leurs troupeaux. Les parties des ouadis où la diatomite et le limon affleurent sont généralement dénudées de végétation.

Action anthropique : Les bas-fond et versants sont cultivés intensivement jusqu'à 14° nord, mais ne dépassent pas le 14°30' nord. Cet espace est ouvert au bétail après les récoltes. Cette région est soumise à une forte pression animale concentrée autour des points d'eau. Dans les bas-fonds d'un ouadi, le puits de Bolobo par exemple, accueillait des centaines de têtes de bétail.



Culture du mil dans le bas-fonds d'un ouadi. La strate ligneuse est diversifiée : *Hyphaene thebaica*, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*...

Domaine du Bhar el Ghazal :

La vallée du Bahr el Ghazal traverse l'erg du Kanem de sud-ouest en nord-est décrivant un parcours quasi-rectiligne d'environ 340 km. Son altitude varie, passant de 283 m au niveau du lac à 286 m près de Moussoro pour redescendre à 262 m à la limite du Kanem. Si son écoulement n'est plus fonctionnel, néanmoins il conserve l'originalité des bas-fonds alluviaux : topographie, sols à hydromorphie résiduelle et végétation sur tout son parcours.

Steppe arbustive des bas fonds du Bahr el Ghazal sud à *Hyphaene thebaïca*, *Acacia raddiana*, *Salvadora persica*, *Capparis decidua*, *Boscia* spp. strate herbacée à *Dactyloctenium aegyptium*, *Cyperus conglomeratus*, *Brachiaria mutica*.

Cette formation traverse la zone de formation dunaire de la limite sud du Kanem jusqu'au sud de Salal et couvre une superficie de 2915 km². Les bas-fonds limono-argileux se caractérisent par une topographie plane, constante et homogène sur son ensemble. Ils bénéficient des écoulements latéraux des versants et bourrelets sableux. La végétation ligneuse se localise dans les chenaux des méandres, la présence de mares temporaires le long de cette unité entretient des conditions favorables au couvert végétal qui est la seule source d'approvisionnement pour le bétail en saison sèche et constitue un fort intérêt pastoral.



Mare temporaire du Bahr el Ghazal ; au premier plan jeunes pousses d'*Acacia raddiana* sur les bourrelets sableux (Mare de Frantrasou).

Cette formation présente deux faciès :

- un faciès qui commence aux environs de Cheddra. Il est caractérisée par la présence de *Hyphaene thebaïca*. La limite nord de cette espèce se situe à 13°34'01" nord et 16°06'07" est. On rencontre les espèces ligneuses suivantes : *Acacia raddiana*, *Salvadora persica*, *Capparis decidua*, *Boscia* spp. et *Dactyloctenium aegyptium* selon des proportions qui varient. La strate herbacée alterne également : *Cyperus conglomeratus*, *Brachiaria mutica*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Sporobolus helvolus*. Les bas fonds sont souvent dégradés par le piétinement du bétail. Ces dépressions sont intensivement exploitées pour les cultures maraîchères (salade,

tomate, oignon, ail). La persistance des eaux de surface pendant une bonne partie de la saison sèche contribue à la surexploitation des pâturages aux alentours.

- un faciès qui succède au premier et se prolonge jusqu'à la limite sud de Salal. Il est caractérisé par *Acacia nilotica* dont la cote est 3. On rencontre les mêmes espèces végétales. Les dépressions, peu importantes en surfaces, sont essentiellement utilisées pour l'alimentation en eau des éleveurs et des animaux. Les pâturages aux alentours sont également intensément exploités.

Action anthropique : Forte fréquentation sur la piste N'Djaména-Moussoro-Faya, nombreux villages et campements, importante activité agro-pastorale toute l'année.

Steppe arbustive des bas fonds du Bahr el Ghazal nord à *Salvadora persica*, *Capparis decidua*, *Acacia raddiana*, *Boscia* spp. strate herbacée à *Dactyloctenium aegyptium*, *Cyperus conglomeratus*, *Brachiaria mutica*.

Cette partie nord en aval du Bahr el Ghazal occupe 358 km². Elle présente les mêmes caractéristiques physiques que la partie sud, seulement elle appartient au domaine semi-désertique, ce qui implique un niveau d'aridité plus important, un plus faible couvert végétal, et l'absence de mares temporaires. Elle est soumise aux vents de sables violents générant un ensablement constant.

Cette région est peu colonisée par les herbacées annuelles. La plante caractéristique est *Aristida pallida* qui est absente sur les autres parties du Bahr El Ghazal. Son recouvrement est faible, moins de 10 pour cent. La strate ligneuse est très clairsemée, à peine sept pieds à l'hectare. On rencontre cependant les espèces communes tels que *Salvadora persica*, *Capparis decidua*, *Acacia raddiana* et *Boscia senegalensis*.

Action anthropique : La forte fréquentation de la piste N'Djaména-Moussoro-Faya par les véhicules et des puits par les troupeaux, provoquent une dénudation du sol, qui est ainsi exposé aux actions du vent.



Fourrés de *Salvadora persica* dans la ligne d'écoulement du Bahr el Ghazal nord.

Steppe arbustive des bourrelets sableux du Bahr el Ghazal à *Balanites aegyptiaca*, *Acacia raddiana*, strate herbacée à *Dactyloctenium aegyptium*, *Aristida mutabilis*.

Comme sa définition géomorphologique l'indique, ce pâturage occupe les parties sableuses de la zone d'influence du Bahr el Ghazal, sous forme d'îlots ou bourrelets d'une épaisseur variable (pouvant atteindre une dizaine de mètres), qui ne sont pas d'origines alluviales. Cette formation occupe 1972 km².

Cette formation correspond à la steppe arbustive à épineux sur substrat sableux. Sur ces placages les espèces communes dominent par alternance : *Schoenefeldia gracilis*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Chloris* spp.

Action anthropique : Les bourrelets sont très cultivés et les champs sont présents sur les versants et le haut de ces îlots.

Cette formation est parsemée de nombreux villages, la population est constituée en grande partie d'agro-éleveurs. Cette région est aussi un lieu de passage pour les transhumants; il peut y avoir une surcharge animale notamment en saison des pluies et des risques de surpâturage.



Vue panoramique du Bahr el Ghazal depuis le haut d'un bourrelet sableux.

Domaine de la plaine inondable :

Steppe arbustive de la plaine argileuse fluvio-lacustre «naga» à *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia senegal*, et localement *Acacia seyal*, strate herbacée à *Panicum laetum*, *Schoenefeldia gracilis*, *Alysicarpus ovalifolius*.

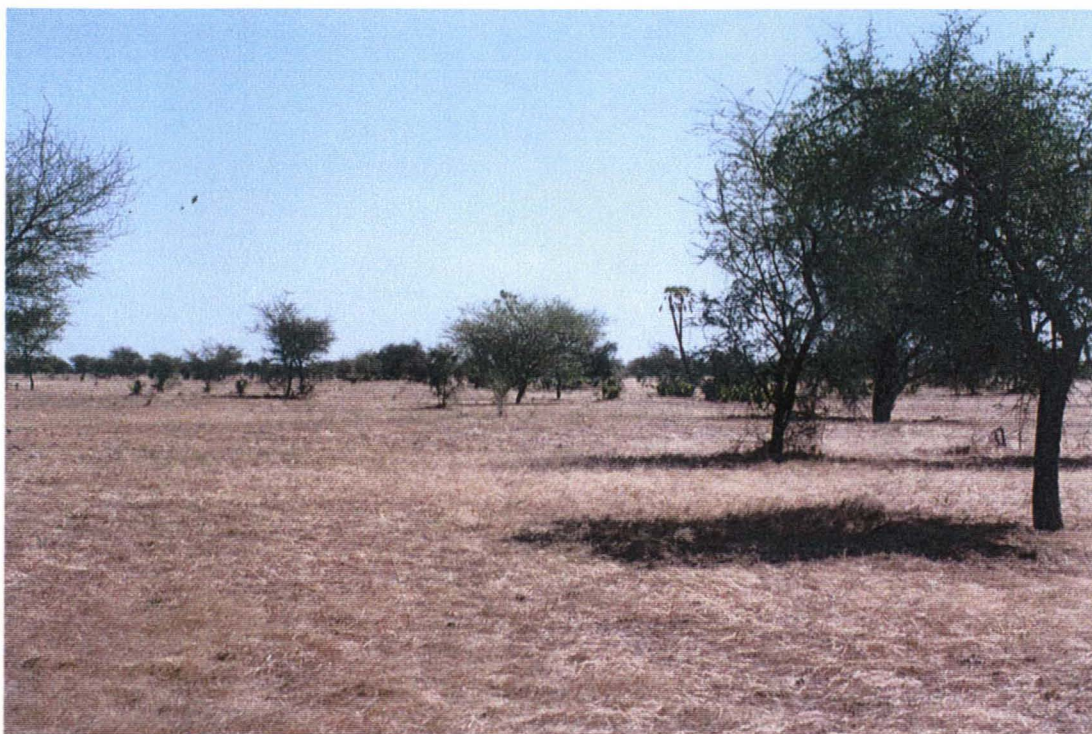
Localisée à l'extrême sud-est du Kanem, cette vaste formation qui s'étend au delà des limites administratives du Kanem occupe 326 km² sur notre zone d'étude.

Elle correspond à une plaine aux sols hydromorphes de topographie plane, parsemée de quelques placages sableux. La couverture herbacée y est très couvrante et continue, la couverture ligneuse, arborée.

Cette formation avait été décrite par GASTON (1976) comme une savane arbustive où dominant *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*. Actuellement *Piliostigma reticulatum* a totalement disparu de la zone tandis que quelques rares pieds de *Combretum glutinosum* subsistent encore. Elle constitue la limite sud du *Leptadenia pyrotechnica*. Cette steppe présente trois faciès :

- un faciès à *Acacia seyal* très dense environ un arbre tous les dix mètres, au sud de la formation ;
- un faciès plus dégradé par la concentration des animaux à cause des mares et où les ligneux sont rares et où domine *Echinochloa colona* et *Panicum laetum*
- un faciès à *Acacia raddiana*, *Acacia senegal* et *Balanites aegyptiaca* associé à *Panicum laetum*, *Schoenefeldia gracilis*, *Alysicarpus ovalifolius*. La densité des ligneux adultes atteint 40 individus par hectare. La régénération est importante uniquement dans ce faciès où elle atteint 20 individus par hectare. La partie est est souvent exposée au feu de brousse.

Action anthropique : C'est une formation à forte potentialité pastorale, très fréquentée. Cette région est peu sensible à la dégradation par surpâturage.



Steppe arborée de la plaine argileuse « Naga » (relevé n°44).

5- Estimation des productions de végétation

Aux dates d'acquisitions des images Landsat TM, la végétation est totalement sénescence et sur plusieurs images d'importants feux de brousse laissent des traces qui masquent les niveaux de production de la phytomasse herbacée.

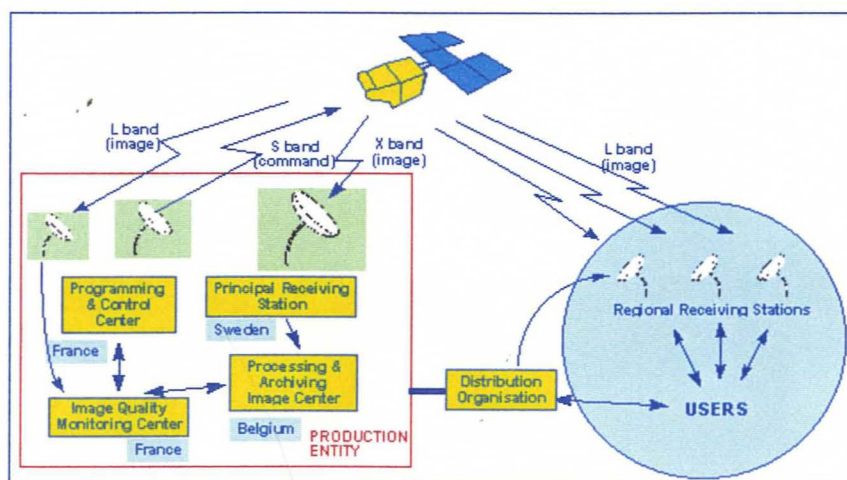
Pour compléter l'information relative à ces niveaux de production des données de l'INSTRUMENT SPOT VEGETATION (Spot 4) ont été utilisées.

5.1- Généralités sur le capteur SPOT4-Végétation

Le satellite SPOT4 a été lancé en avril 98. Il acquiert depuis des images journalières à 1 km de résolution sur l'ensemble de la planète. La trace du satellite couvre 2200km.

Le segment sol :

La principale station d'acquisition est située à Kiruna (Suède). Cette station reçoit des images du monde entier en pleine résolution. Le centre de contrôle et de programmation du satellite est à Toulouse. Le centre du suivi de qualité est également à Toulouse (envoi des paramètres de calibration aux différentes stations de réception). Le centre de traitement et d'archivage est localisé au centre VITO à Mol en Belgique. Ce centre gère l'archive mondiale, traite les demandes des usagers, offre un catalogue sur internet (<http://www.vgt.vito.be/>). Les images sont distribuées par Spot Image (<http://www.spotimage.fr>), CLEO, SSC (Swedish Space Corporation) et Telespazio.



Les spécificités des produits journaliers P :

Les produits journaliers P (dits 'Physiques') sont corrigés des erreurs du système d'acquisition (superposition des différents canaux, calibration des détecteurs le long de la ligne) et ré-échantillonnés en projection géographique.

Les **spécificités géométriques** du produit sont les suivantes :

- superposition entre les différentes bandes spectrales : entre 0.1 km et 0.3 km.
- superposition multitemporelle : entre 0.3 km et 0.5 km
- localisation absolue : entre 0.5 km et 1km

Tous les pixels sont ré-échantillonnés sur une grille régulière de 1 km, prenant en compte :

- la superposition des bandes spectrales
- la localisation du satellite et la correction de l'altitude
- l'élévation du terrain pour prendre en compte la distorsion du parallaxe et fournir des orthoimages.

Les spécificités radiométriques :

L'étalonnage des capteurs est effectué à bord du satellite. La précision de l'étalonnage est de 3% ou mieux pour l'inter-bandes et le multi-temporel, et la précision absolue est de 5% ou mieux.

5.2- Les données images

Les données journalières VGT acquises pendant les hivernages (juin à novembre) de 1998 et 1999 ont été pré-traitées au CESBIO (Centre d'Etudes Spatiale de la BIOSphère) dans le cadre du programme Préparatoire 'Applications of VEGETATION data to resource management in arid and semi-arid rangelands' (Bégué et al., 2000) mené conjointement par le CIRAD, le CESBIO, l'IRD et AGRHYMET.

Après une sélection des images les moins nuageuses et les plus complètes les dates suivantes ont été sélectionnées :

1998

DATE (28 images)
(année-mois-jour-heure)

1998 06 07 09h24
1998 06 11 09h48
1998 06 12 09h28
1998 06 24 08h57
1998 06 29 09h01
1998 07 04 09h05
1998 07 07 09h48
1998 07 10 08h50
1998 07 14 09h13
1998 07 15 08h54
1998 07 17 09h56
1998 07 18 09h37
1998 07 28 09h44
1998 08 14 09h17
1998 08 18 09h40
1998 08 28 09h48
1998 09 09 09h17
1998 09 13 09h41
1998 09 24 09h29
1998 10 03 09h56
1998 10 09 09h41
1998 10 10 09h21
1998 10 21 09h20

1998 10 31 09h28
1998 11 01 08h59
1998 11 11 09h08
1998 11 26 09h21
1998 11 27 09h01

1999 (40 images)
(année-mois-jour-heure)

1999 06 020 9h00
1999 06 06 09h24
1999 06 12 09h19
1999 06 15 09h51
1999 06 16 09h32
1999 06 17 09h22
1999 06 18 08h53
1999 06 21 09h35
1999 0622 09h26
1999 06 26 09h39
1999 06 27 09h20
1999 06 28 09h00
1999 07 13 09h22
1999 07 27 09h43
1999 08 17 09h39
1999 08 28 09h27
1999 08 29 09h18
1999 09 02 09h31
1999 09 04 08h52
1999 09 09 08h56
1999 09 17 09h43
1999 09 18 09h23
1999 09 22 09h47
1999 09 29 09h31
1999 10 08 09h39
1999 10 09 09h19
1999 10 18 09h47
1999 10 23 09h51
1999 10 24 09h32
1999 10 25 09h22
1999 11 05 09h02
1999 11 14 09h30
1999 11 15 09h11
1999 11 18 09h54
1999 11 19 09h34
1999 11 20 09h15
1999 11 21 08h55
1999 11 21 08h55
1999 11 24 09h39
1999 11 29 09h43

Ces images journalières en pleine résolution (1km) ont été corrigées des effets atmosphériques à l'aide du logiciel SMAC (Berthelot and Dedieu, 1999). Les contenus en eau atmosphérique à 1x1° de résolution ont été dérivés des simulations faites par le CNRM (Centre National de Recherche Météorologique). Cette correction atmosphérique est la même que celle appliquée dans la chaîne de traitement des données VGT commercialisées (produit P, voir paragraphe précédent).

Les images ainsi pré-traitées sont livrées codées sur 16 bits, et comportent 8 canaux :

B0 (bleu),
B2 (rouge ou R),
B3 (proche infra-rouge ou PIR),
MIR (moyen infrarouge),
SAA (Sun Azimut angle),
SZA (Sun Zenith Angle),
VAA (View Azimut Angle)
VZA (View Zenith Angle).

La projection des images initiale est la 'Plate Carrée', WGS84.

La zone extraite correspond à : 12°-17°30' E et 11°-16° N, soit 561 lignes et 617 colonnes.

Le traitement des images au CIRAD s'est effectué en 5 étapes :

- Sélection visuelle des images 'utilisables'. Ont été éliminées les images tronquées (images en limite d'orbite) et les images très ennuagées. Au total 68 images ont été traitées (28 en 1998 et 40 en 1999)
- Calcul des indices de végétation journaliers (nous avons choisi de calculer pour chaque image l'indice de végétation le plus couramment utilisé, (Normalized Difference Vegetation Index) suivant la formule suivante $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$).
- Calcul du maximum d'indice de végétation : à partir des images journalières NDVI, nous avons calculé une image de synthèse dans laquelle chaque pixel a la valeur maximum des NDVI rencontrés durant la saison.
- Rectification géométrique pour passer du « système plate carrée » à la projection UTM 33 N WGS84
- Extraction de la zone d'étude.

5.3- Interprétation et présentation des résultats

Les synthèses annuelles des maxima des NDVI (fig. 1) peuvent être assimilées (en première approximation) à une représentation des niveaux de production herbacées en fin de saison des pluies.

Pour simplifier l'analyse des résultats, les deux images ont été segmentées en 7 classes à l'aide des observations effectuées sur le terrain (fig. 2). Faute de mesures de production « in situ » en fin de saison des pluies, cette classification ne peut être que qualitative, mais la partition est significative entre les deux années.

Figure n° 1

Synthèse annuelle NDVI maximum

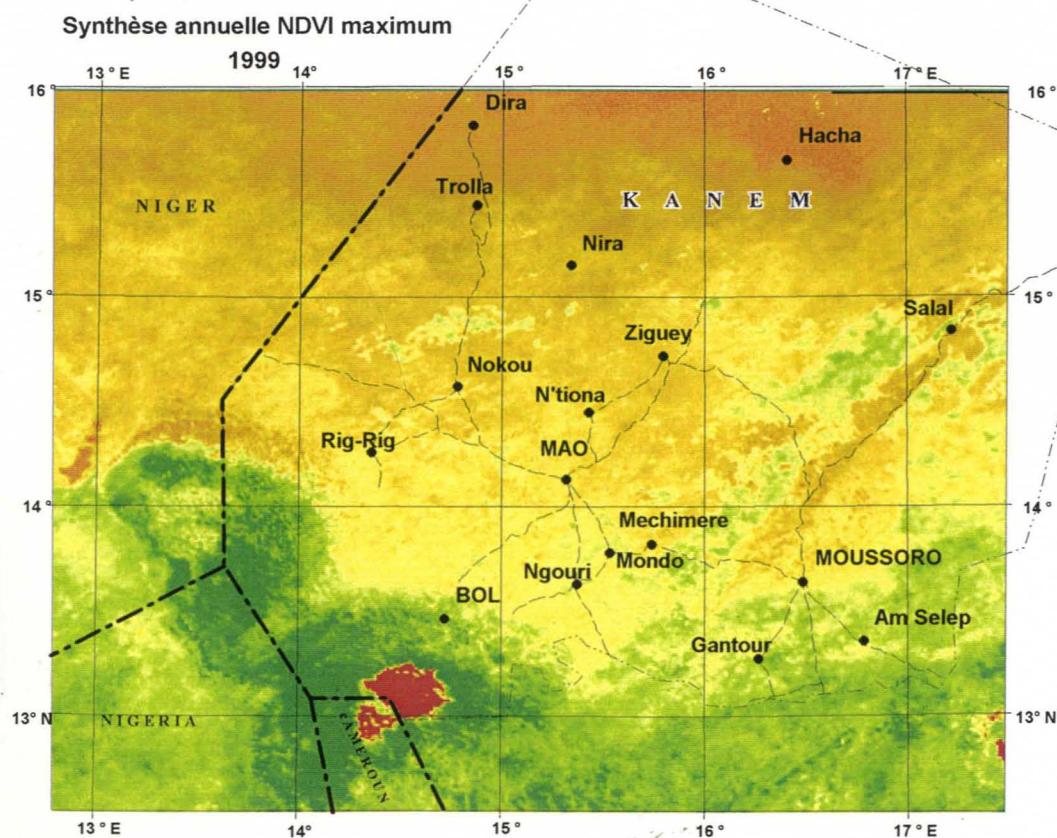
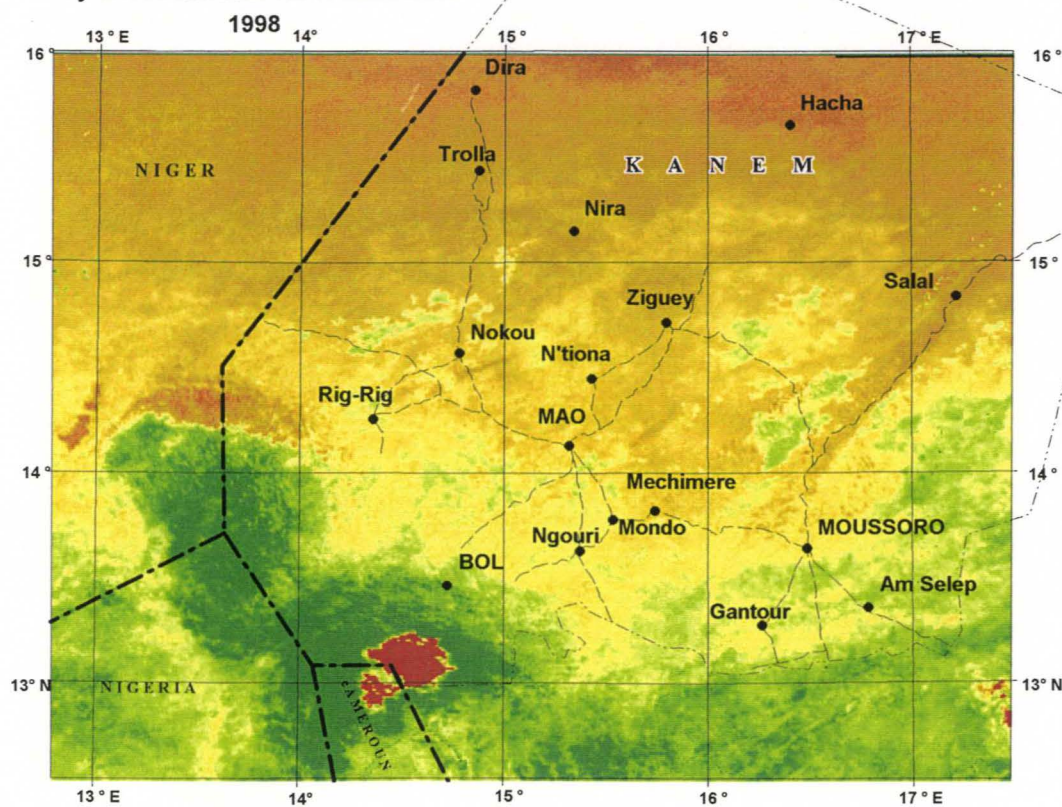
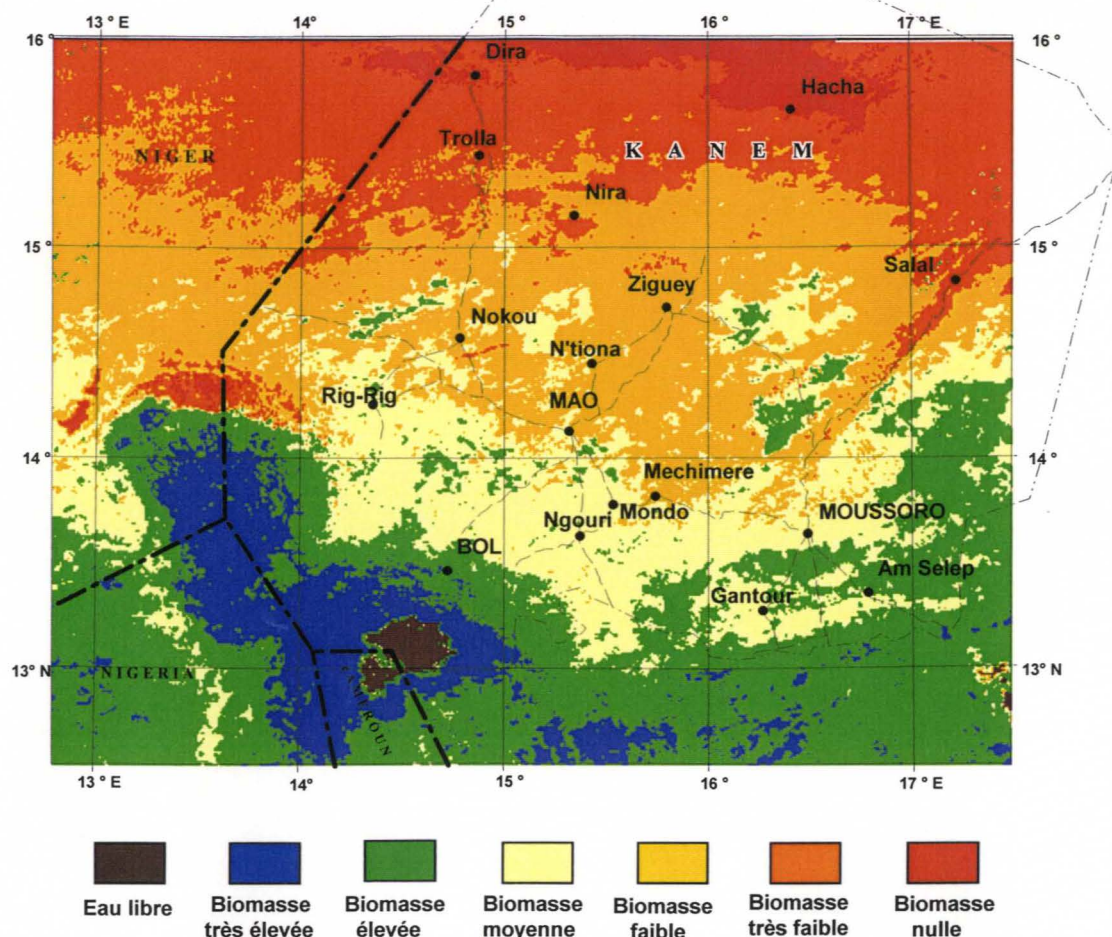
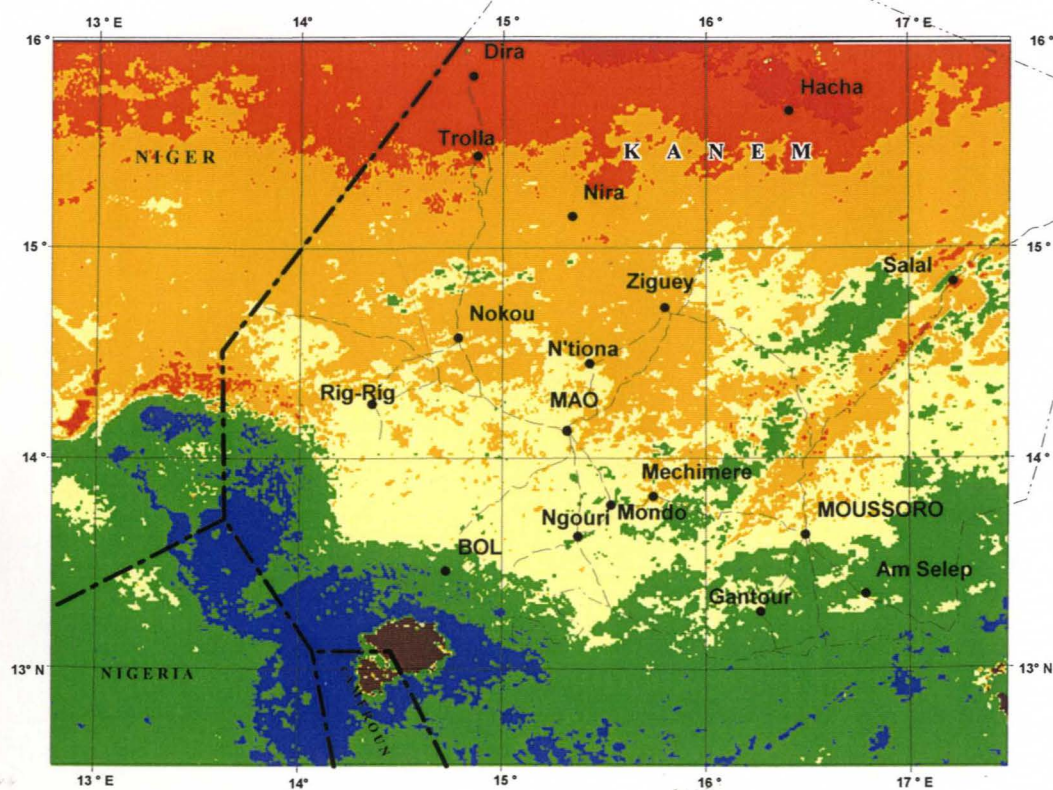


Figure n° 2

Estimation des niveaux de biomasse 1998



Estimation des niveaux de biomasse 1999



- Classe 1 : Eau libre
- Classe 2 : Biomasse très élevée
- Classe 3 : Biomasse élevée
- Classe 4 : Biomasse moyenne
- Classe 5 : Biomasse faible
- Classe 6 : Biomasse très faible
- Classe 7 : Biomasse nulle

Ces deux images montrent bien la variabilité des niveaux de production entre 1998 et 1999. Cette variabilité est plus importante dans la partie nord de la zone où l'on constate une remontée des productions d'environ 50 km en 1999 par rapport à la situation de 1998. On remarque également des taches de production importantes en 1999 sur la rive ouest du Bahr El Ghazal.

Conclusions

Les données de l'instrument VEGETATION SPOT offre de réelles perspectives de suivi de la production. Des mesures de biomasses sur le terrain pourraient valider les classes établies et caler l'information satellitale.

Dans une seconde phase de travail d'autres données seront acquises (en particulier celles de la saison des pluies de 2000 et des données historiques de NOAA/AVHRR) pour étudier la distribution spatiale du couvert végétal à moyen terme et par cette démarche en déduire les tendances évolutives voire, identifier des zones dégradées.

6- Conclusion générale

Les potentialités pastorales du Kanem semblent stables ; elles peuvent varier d'une année sur l'autre en fonction des conditions climatiques et de l'importance de la charge animale.

Les aménagements hydro-pastoraux ne peuvent être similaires pour l'ensemble du Kanem. En effet, les taux d'occupations des formations identifiées varient.

- Le domaine semi-désertique représente près de 45 % de la superficie totale (cf. tableau n°1). Ce sont des régions de faible productivité fourragère. Néanmoins, ces pâturages sont souvent sous-exploités et méritent une étude approfondie (exception faite pour la Formation herbacée de la cuvette à diatomites de l'Eguey) pour savoir s'ils peuvent supporter une plus grande charge animale et éventuellement quelles sont les limitations. Nous savons qu'une ou deux années consécutives de bonne pluviométrie permettraient une bonne régénération du couvert végétal, principalement pour la strate herbacée, car la strate ligneuse serait peu affectée par ces variations de pluviosité annuelle.

- Les autres formations identifiées du Kanem présentent d'importantes potentialités pastorales. De part ces conditions plus favorables (climatiques, végétation, accès aux ouvrages hydrauliques, proximité des villages....), elles font partie des régions les plus peuplées. Même si les zones dégradées par l'action anthropique restent localisées, ces régions méritent une attention pour éviter l'extension de ces phénomènes de dégradation.

La limite semi-désertique ainsi que les zones détruites par la sécheresse, éolisées ou dégradées par la pression anthropique ont été identifiées et sont représentées sur la carte n°4 :

Dégradation de nature climatique :

- La limite semi-désertique se situe au niveau du 15^{ème} parallèle. Elle est identique et correspond aux indications données par A. Gaston en 1976. Au nord de cette limite, les formations reposent sur des états de surfaces stables, qui ne présentent pas de caractères éphémères. Ces surfaces sont liées aux caractéristiques physiques du milieu.

Manifestement, d'après nos observations de terrain, les phénomènes d'ensablement dépassent cette limite vers le sud laissant apparaître des zones d'accumulations sableuses (la limite sud est matérialisée sur la carte par le trait jaune).

Ces zones sensibles à l'ensablement s'expliquent par leur faible couvert végétal et sont ainsi exposées aux phénomènes d'éolisation. En effet, deux mois seulement après la saison des pluies, elles présentent des sols dénudés, où la végétation herbacée a totalement disparu.

Nous avons tracé cette nouvelle limite, plus au sud. Elle est continue d'est en ouest sur l'ensemble du Kanem et pénètre les régions de Ziguey et N'tiona selon un axe d'orientation nord/est – sud/ouest.

A ces phénomènes d'ensablement s'ajoute l'aridité du climat. Sur les plateaux à faibles ondulations (entre 14°20' à 14°30' de latitude nord et 16° à 16°30' de longitude est) nous avons traversé, sur environ 15 km, une zone totalement détruite par la sécheresse. Les ligneux, *Leptadenia pyrotechnica*, *Balanites aegyptiaca*, ainsi que toutes les herbacées étaient totalement sèches.

Carte 4 Localisation des limites semi-désertiques et des zones dégradées

Domaine semi-désertique

- Steppe arbustive du plateau désertique du Nord à *Acacia raddiana*, *Maerua crassifolia*, strate herbacée à *Panicum turgidum*, *Aristida pallida*.
- Formation herbacée de la cuvette à diatomites de l'Eguez à *Schoenefeldia gracilis*, *Sporobolus helvolus*.
- Steppe arbustive du système collinaire sableux du Manga à *Capparis decidua*, *Maerua crassifolia* et *Panicum turgidum* dans les dépressions : *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca* et *Panicum turgidum*, *Cyperus conglomeratus* sur les versants.
- Steppe arbustive des plateaux sableux désertiques à faibles ondulations à *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, strate herbacée à *Aristida mutabilis*.

Domaine de formations dunaires

- Steppe arbustive des plateaux sableux de surface sub-horizontale à *Leptadenia pyrotechnica*, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, strate herbacée à *Aristida mutabilis*, *Panicum turgidum* (Nord de Mao).
- Steppe arbustive des plateaux sableux à faibles ondulations à *Acacia raddiana*, *Leptadenia pyrotechnica*, strate herbacée à *Aristida mutabilis*, *Eragrostis tremula*.
- Steppe arbustive des plateaux sableux entaillés par des ouadis profonds à *Leptadenia pyrotechnica*, *Acacia raddiana*, strate herbacée à *Panicum turgidum*, *Aristida mutabilis*, *Cenchrus bifforus*.

Domaine du Bahr el Ghazal

- Steppe arbustive des bas fonds du Bahr el Ghazal Nord à *Salvadora persica*, *Capparis decidua*, *Acacia raddiana*, *Boscia* spp., strate herbacée à *Dactyloctenium aegyptium*, *Cyperus conglomeratus*, *Brachiaria mutica*.
- Steppe arbustive des bas fonds du Bahr el Ghazal Sud à *Hyphaene thebaica*, *Acacia raddiana*, *Salvadora persica*, *Capparis decidua*, *Boscia* spp., strate herbacée à *Dactyloctenium aegyptium*, *Cyperus conglomeratus*, *Brachiaria mutica*.
- Steppe arbustive des bourrelets sableux du Bahr el Ghazal à *Balanites aegyptiaca*, *Acacia raddiana*, strate herbacée à *Dactyloctenium aegyptium*, *Aristida mutabilis*.

Domaine de la plaine inondable

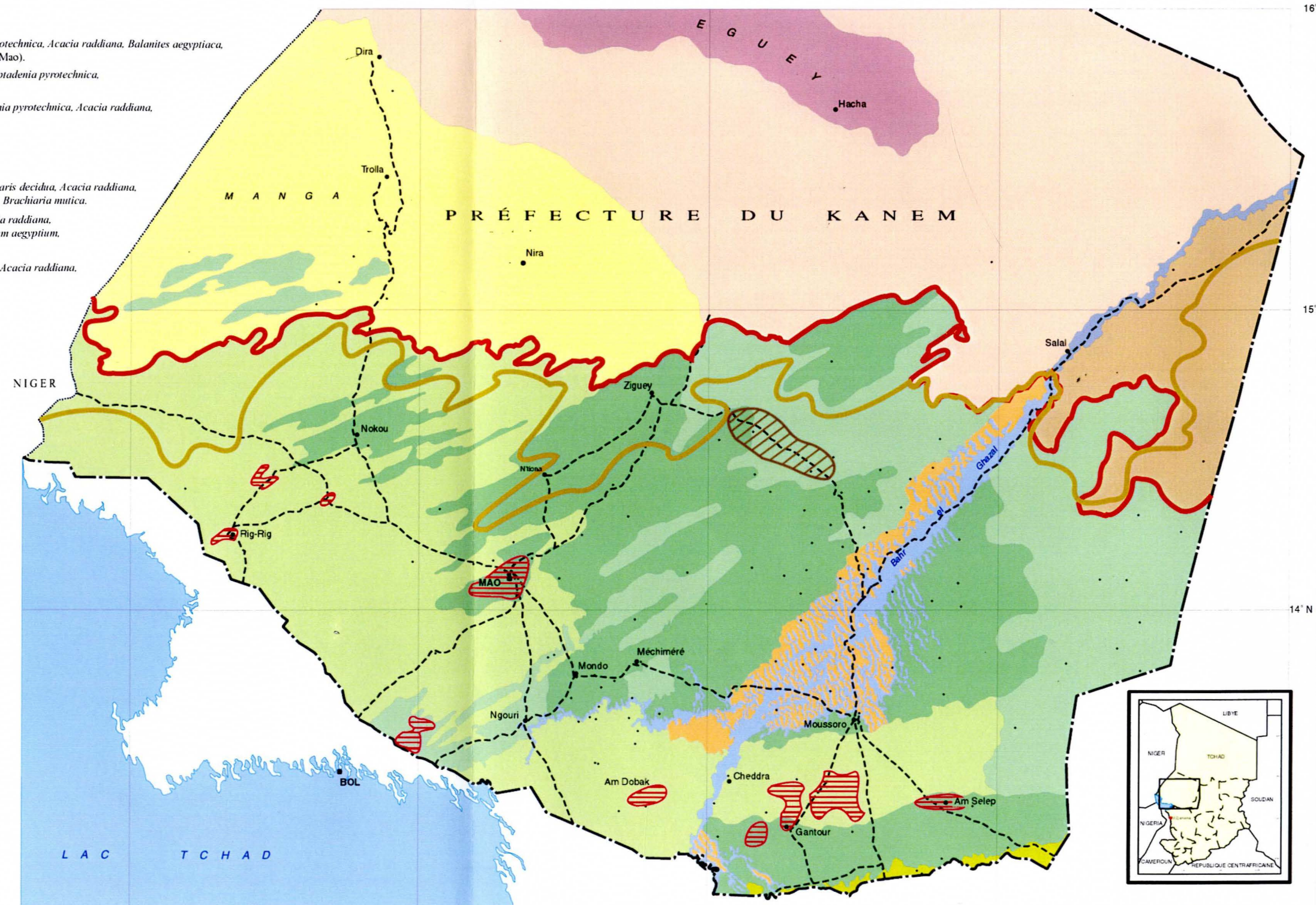
- Steppe arbustive de la plaine argileuse fluvio-lacustre "naga", à *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia senegal*, strate herbacée à *Panicum laetum*, *Schoenefeldia gracilis*, *Alysicarpus ovalifolius*.

Topographie

- Limite de préfecture
- Limite d'État
- - - Pistes
- Chef-lieu de préfecture
- Villes, villages
- Puits en bon état (inventaire 1997)

- Limite du domaine semi-désertique
- Limite d'ensablement
- /// Dégradation climatique
- /// Dégradation anthropique

0 10 20 30 40 50 km



Réalisation cartographique : L. GUERRINI, G. FORGIARINI (CIRAD-Emvt)
D'après les images Landsat 7 TM, décembre 1999
Contribution thématique : O. DASSEING (LRVZ de Farcha)

Référentiel géodésique et cartographique : WGS 84 - UTM 33 Nord

CIRAD-Emvt
FRANCE

Groupe BRGM
Sciences de la Terre
TCHAD

N.B : Le tracé des frontières et des limites administratives n'a pas de valeur juridique et ne saurait engager la responsabilité de l'éditeur.

© CIRAD-Emvt, janvier 2001

Dégradation de nature anthropique :

- Ces zones de dégradation sont peu étendues, elles sont localisées dans la partie centrale du Kanem. Elles apparaissent en taches dispersées sur la carte n° 4 et correspondent à des zones de forte densité de population. Elles regroupent parfois plusieurs villages.

Les images satellites ne permettent pas d'apprécier l'intensité et la nature de la dégradation. Cependant elles permettent de localiser les zones dégradées et d'en estimer leur extension. Les enquêtes de terrain ont permis d'identifier les zones effectivement dégradées des zones cultivées.

Ces dégradations se traduisent sous différents aspect :

- La végétation s'appauvrit laissant apparaître les plantes indicatrices de dégradation telles que le *Calotropis procera*.
- Sur les zones planes, des plages de sable mobilisé apparaissent en auréole sur un rayon de 3 km autour des villages, comme Gantour, Torotoro, Am Selep, Rig-Rig et Am Dobak, la végétation redevient couvrante au delà de cette limite.
- Autour des puits, les auréoles de dégradation ne dépassent pas 1 km de rayon. Elles sont visibles sur les images satellites mais ne sont pas représentables à l'échelle de la carte.
- La dégradation se manifeste aussi sur les versants des profonds ouadis, provoquant des éboulements sableux.
- Les versants à fort ravinements hydriques sont observés dans la zone qui entoure Mao. Les manifestations les plus remarquables et spectaculaires sont celles de la ville de Mao. Les versants des plateaux entaillés de larges ouadis présentent également des ravinements importants.



Envahissement de *Calotropis procera* à proximité d'un terroir villageois.

Les pâturages du Kanem sont dépendants des variations pluviométriques annuelles.
Les images Spot Végétation confirment une biomasse plus élevée vers le nord en 1999 par rapport à 1998, elle correspond à une meilleure année pluviométrique.

Les 51 relevés de végétation, dont un exemple figure en annexe ont été insérés dans la base de données FLOTROP du CIRAD-Emvt et sont disponibles pour une recherche comparative ou pour une information floristique exhaustive sur un site donné.

Bibliographie

BOUDET G. 1991. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères .Paris, France, La documentation française, 226 p. (Manuels et précis d'élevage n° 4)

CIRAD-IEMVT 1986. Elevage et potentialités pastorales sahéliennes. Synthèses cartographiques. Tchad. CTA-CIRAD-IEMVT , Maisons –Alfort, 24 p.

DAGET Ph.. 1995. « FLOTROP », une base de données agro-pastorales sur l'Afrique tropicale au CIRAD-EMVT.

DASSERING O., FORGIARINI G., GUERRINI L. 2000. Programme d'hydraulique pastorale dans la Kanem, Compte-rendu de la mission d'actualisation de la carte des ensembles pastoraux du Kanem. Rapport CIRAD-EMVT n° 00 45, Montpellier, France. 14 p.+ annexes.

DE LANNOY M., LANTIERI D. 1992. Use of high resolution satellite data and sample aerial photographs for land-inventory studies, project in Chad. FAO, Rome. RSC n° 63, 67 p.

GASTON A. 1967. Etude agrostologique du Kanem : préfecture du Kanem au sud du 16^{ème} parallèle et préfecture du Lac. Etude agrostologique N° 19. Laboratoire de Farcha, Fort Lamy ; Maisons Alfort : 147 p., cartes.

GASTON A. 1975. Relevé phyto-sociologique et évaluation des parcours. Actes du colloque 3-8 mars 1975, Bamako. Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains. ILCA, Addis Abeba. p.297 à 299.

GASTON A., DULIEU D. 1976. Pâturages du Kanem : effets de la sécheresse de 1973 sur les pâturages du Kanem-Lac ; comparaison avec les études de 1964 et 1966 ; réactualisation de la carte. IEMVT, Maisons Alfort, Direction de l'Elevage, N'Djaména ; Aide d'urgence Sahel-CEE 74-75 : 175 p.

GASTON A., 1981. La végétation du Tchad – Evolution récentes sous des influences climatiques et humaines. Thèse doct. Univ. Paris XII, France, 333 p.

GASTON A. 1996. Les effets des sécheresses de 1973 et 1984 sur les pâturages sahéliens Atlas d'Elevage du Bassin du Lac Tchad, CTA-CIRAD-EMVT , Montpellier, p.47-48.

ICKOWICZ A., CORNIAUX Ch. 2000. Programme d'Hydraulique Pastorale dans le Kanem, Deuxième mission d'appui au volet élevage du 03 au 19 mai 2000. Rapport CIRAD-EMVT n° 00 035, Montpellier, France. 31 p. + annexes.

ICKOWICZ A., GUERIN H. 2000. Programme d'hydraulique pastorale dans le Kanem (PHPK). Rapport de mission d'appui au volet Elevage. Rapport CIRAD-EMVT n° 00 01, janvier 2000. (9 au 29 oct. 1999). 79 p.

INTSH, 1972. Atlas pratique du Tchad. Paris, France, IGN. 77 p.

LEMOALLE J., HOURTAL D., 1996. Ressources en eau du Bassin Conventionnel, Atlas d'Elevage du Bassin du Lac Tchad, CTA-CIRAD-EMVT, Montpellier, p. 23 à 28.

LEVIF J. 1966. Economie Pastorale de la Région de Moussoro. IEMVT , Maisons Alfort, Laboratoire de Farcha, N'Djaména. 129 p.

MAYDELL (von) H.J., 1983. Arbres et arbustes du Sahel, Leur caractéristiques et leur utilisation. Eschborn, Allemagne, GTZ, 531 p.

POISSONET J., FORGIARINI G., TOUTAIN B., TOURE I. 1997. Cartographie de la végétation pastorale pour le projet « Almy Bahaïm » d'hydraulique pastorale dans le Tchad Oriental. Notice détaillée. CIRAD-EMVT, Montpellier, BURGEAP, Boulogne Billancourt, Direction de l'Hydraulique et de l'Assainissement, N'Djaména, Caisse Française de Développement, Paris : 83 p. + cartes.

TONNEAU J. Ph. 1997. Le développement des ouaddis du Kanem Formation du 9 au 18 décembre 1997 au Projet de Développement des Ouaddis du Kanem (PDAOK) CIRAD , ONDR N'Djaména 120 p.

TOUTAIN B., TOURE O., REOUNODJI F. 2000. Etude prospective de la stratégie nationale de gestion des ressources pastorale au Tchad. Rapport CIRAD-EMVT n° : 00-28. Montpellier, France, 86 p.+ annexes.

WOLF J. P. 1964. Carte géologique de la république du Tchad au 1/1 500 000. Orléans, France, BRGM, 2 coupures.

YOSKO I. 1993. Le système pastoral Toubou du Bahr el Ghazal : essai d'approche intégré des modèles empiriques et modèles écologiques. Thèse Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, 218 p.

YOSKO I. 1996. Le Bahr el Ghazal (Tchad) : Occupation humaine et exploitation traditionnelle des ressources, Atlas d'Elevage du Bassin du Lac Tchad, CTA-CIRAD-EMVT , Montpellier, 66-69 p.

YOSKO I. 2000. Programme d'Hydraulique Pastorale dans le Kanem. Mission de reconnaissance agrostologique dans le Kanem du 25/7 au 13/8/2000. LRVZ, N'Djaména, 15 p.

ZOLOTAREVSKI B., MURAT M. 1938. Divisions naturelles du Sahara et sa limite méridionale, La vie dans la région désertique nord-tropicale de l'ancien monde. Société de Biogéographie, Lechevalier, Paris, 335-350 p.

Table des annexes

Annexe 1 : Références des 8 images Landsat TM et dates d'acquisition

Annexe 2 : Extrait de l'interprétation et localisation des relevés et points intermédiaires de la spatio-carte « Moussoro »

Annexe 3 : Exemple d'une fiche de relevé de végétation

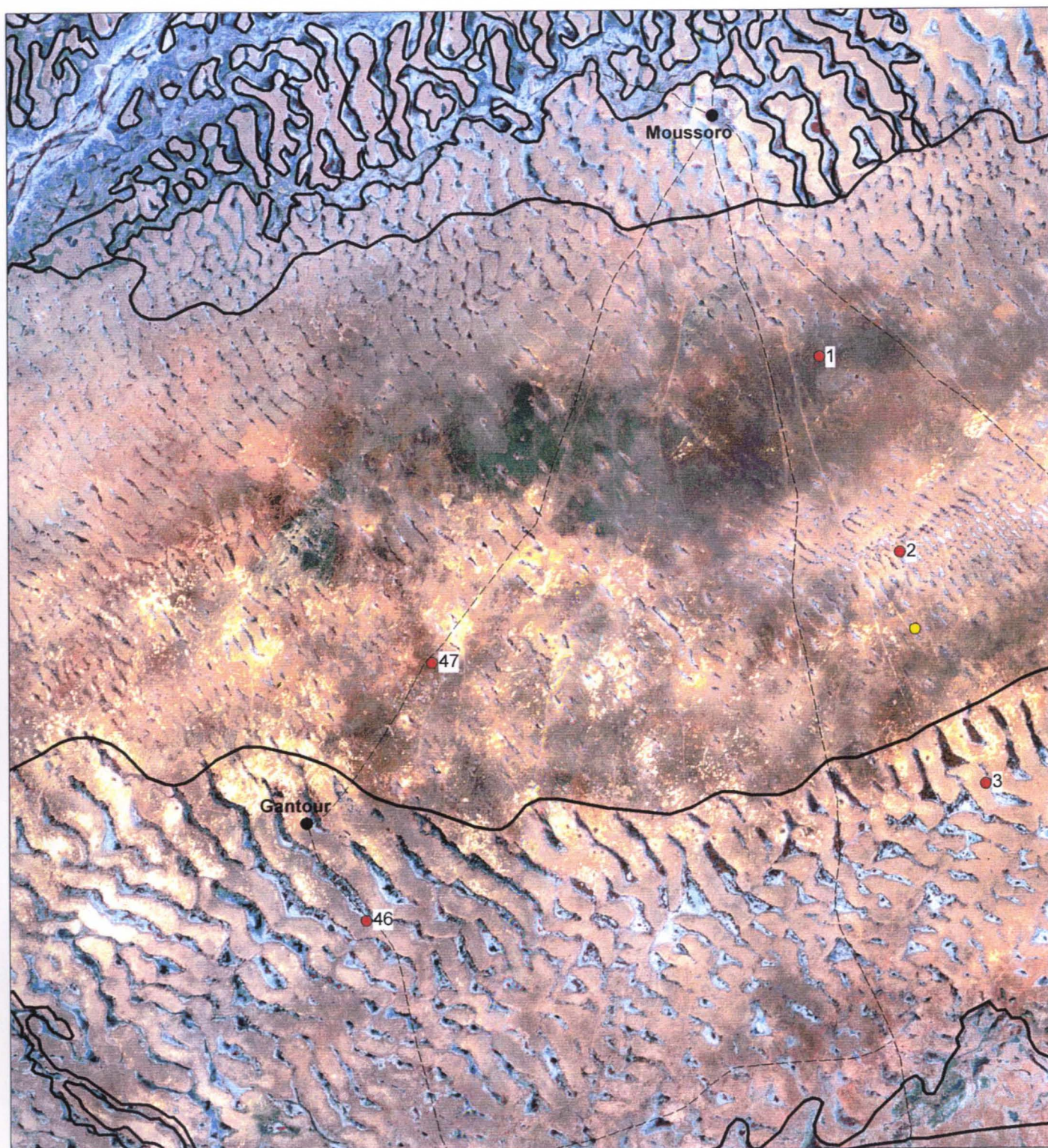
Annexe 4 : Exemple de relevés de points intermédiaires

Annexe 5 : Enumération alphabétique des plantes identifiées sur le terrain

Annexe 1 : Références des 8 images Landsat TM et dates d'acquisitions.

185-049 10-12-1999	184-049 03-12-1999	183-049 26-11-1999
185-050 10-12-1999	184-050 03-12-1999	183-050 12-12-1999
	184-051 03-12-1999	183-051 12-12-1999

Annexe 2 : Extrait de l'interprétation et localisation des relevés et points intermédiaires
de la spatio-carte "Moussoro"



- Relevés végétation
- Points intermédiaires

RELEVÉ DE VÉGÉTATION

Observateurs : O. DASSERING, L. GUERRINI, G. FORGIARINI (A.G.,1976): SP/RS

Relevé N°..9.....Date...04/10/00.....Alt : 292.m.....

Lieu Dibinintchi..... Nom de la carte.....N'Gouri.....

Latitude.....13° 35' 12".....Longitude.....15° 18' 40".....

Type de Végétation.....Steppe arbustive.....

Topographie.....Inter dépression.....

Sol, type, érosion :.....Sableux

Végétation	Hauteur	Couvert (%)
Strate A	5 m	10
Strate B	1.5m	5
Strate C	20 cm	25

Anthropisme : Forte exploitation, pseudo ouaddis étroits. Dans les dépressions, plus dense en *Acacia raddiana*. Culture sur versants des inters dépressions. Forte régénération des ligneux.

Analyse floristique

	Nom scientifique	Strate	Abond-Dom	Observations
1	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	B	2	
2	<i>Balanites aegyptiaca</i>	A	1	
3	<i>Acacia raddiana</i>	A	3	
4	<i>Acacia senegal</i>	A	+	
5	<i>Eragrostis tremula</i>	C	2	
6	<i>Aristida mutabilis</i>	C	3	
7	<i>Cenchrus biflorus</i>	C	+	
8	<i>Cassia mimosoides</i>	B	+	
9	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	C	+	
10				
11				

Annexe 4 : Exemple des commentaires des relevés intermédiaires.

	Latitude : 13°06'29'' Longitude : 16°37'21''	Zone environ d'une mare temporaire <i>Zizphus mauritiana</i> (+), <i>Dalbergia melanoxylon</i> (+), <i>Capparis decidua</i> (+), <i>Salvadora persica</i> +, <i>Combretum glutinosum</i> (+), <i>Hyphaene thebaïca</i> (+), <i>Balanites aegyptiaca</i> (2), <i>Acacia raddiana</i> (1), <i>Panicum laetum</i> (3), <i>Sclerocarya birrea</i> (+). Régénération très importante de <i>Balanites aegyptiaca</i> et d' <i>Acacia raddiana</i> . Quelques rares <i>Leptadenia pyrotechnica</i> , par endroit dans les parties plus sableuse.
	Latitude : 13°06'21'' Longitude : 16°33'09''	<i>Leptadenia pyrotechnica</i> (2), <i>Acacia raddiana</i> (3), <i>Acacia senegal</i> (+), zone à faible ondulation, <i>Balanites aegyptiaca</i> (1), arbre plus dense, couverture: 15% ligneux, 80% herbacée. Régénération très importante.
	Latitude : 13°06'14'' Longitude : 16°32'13''	<i>Acacia raddiana</i> , <i>Acacia senegal</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> densité ligneuse environ 30%. Zone à <i>Acacia seyal</i> . Gradient Est - Ouest
A partir du relevé 49	Latitude : 13°25'28'' Longitude : 16°59'45''	Vaste zone peu exploitée, pâturage abondante pas de point d'eau dans les parties déprimées. Même espèces que R49. Sur le plateau: <i>Leptadenia pyrotechnica</i> rare Plateau couverture herbacée: 80% ; couverture ligneux 2%; <i>Cenchrus biflorus</i> (2)

Genres et espèces

Acacia albida
Acacia nilotica
Acacia raddiana
Acacia senegal
Acacia seyal
Achyranthes aspera
Aerva javanica
Alysicarpus ovalifolius
Aristida mutabilis
Aristida pallida
Balanites aegyptiaca
Boscia senegalensis
Brachiaria mutica
Calotropis procera
Capparis decidua
Cassia mimosoides
Cenchrus biflorus
Cenchrus prieurii
Chloris gayana
Chloris pilosa
Chrozophora brocchiana
Citrullus lanatus
Combretum glutinosum
Corchorus tridens
Cyperus conglomeratus
Dactyloctenium aegyptium
Dalbergia melanoxylon
Digitaria sp
Eragrotis tremula
Hyphaene thebaïca
Indigofera hochstetteri
Leptadenia pyrotechnica
Maerua crassifolia
Panicum laetum
Panicum turgidum
Salvadora persica
Schoenefeldia gracilis
Sclerocarya birrea
Sporobolus festivus
Ziziphus mauritiana
Zornia glochidiata

Familles

Mimosaceae
Mimosaceae
Mimosaceae
Mimosaceae
Mimosaceae
Amaranthaceae
Amaranthaceae
Fabaceae
Poaceae
Poaceae
Balanitaceae
Capparidaceae
Poaceae
Asclepiadaceae
Capparidaceae
Caesalpiniaceae
Poaceae
Poaceae
Poaceae
Poaceae
Euphorbiaceae
Cucurbitaceae
Combretaceae
Tiliaceae
Cyperaceae
Poaceae
Fabaceae
Poaceae
Poaceae
Arecaceae
Fabaceae
Asclepiadaceae
Capparidaceae
Poaceae
Poaceae
Salvadoraceae
Poaceae
Anacardiaceae
Poaceae
Rhamnaceae
Fabaceae

Table des documents

Carte 1 : Localisation de la préfecture du Kanem

Carte 2 : Localisation des images Landsat 7 TM de la préfecture du Kanem

Carte 3 : Répartition des 51 relevés et points intermédiaires dans la zone d'étude

Carte 4 : Localisation des limites semi-désertiques et des zones dégradées